

В.И. Виткевич

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
МЕТЕОРОЛОГИЯ

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ  
ДЛЯ ВЫСШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**В. И. ВИТКЕВИЧ**

профессор,  
доктор физико-математических наук

SS1-5(02)  
BS41

# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

139427

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для сельскохозяйственных институтов

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,  
ПЕРЕРАБОТАННОЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «КОЛОС»

Москва — 1966

и этом приземном слое вертикальные и горизонтальные движения воздуха, а также режим влажности и образование различных гидрометеоров, например росы, инея, заморозки и др.

Задача сельскохозяйственной метеорологии заключается не только в изучении приземного слоя воздуха, его физических состояний и процессов, в нем протекающих, но и в разработке методов управления климатом приземного слоя воздуха и физическими состояниями этого слоя. Это дает возможность организовать борьбу с заморозками, суховеями, засухами и другими неблагоприятными условиями. Умение управлять физическим состоянием приземного слоя воздуха дает возможность мелиорации климата данной местности и создания для растений определенных условий.

Важной задачей сельскохозяйственной метеорологии является изучение аэрации почвы, а также теплового и водного баланса поверхностного слоя почвы в зависимости от состава почвы, рельефа, местных и почвенно-климатических условий и других факторов. Так же, как и по другим разделам этой науки, здесь важно не только изучение наблюдаемых физических состояний и процессов, но и выяснение возможности управления ими. Большое значение имеют также агротехнические приемы воздействия на температурный и водный режим почвы, как снегозадержание, обработка, подогрев, полив и др.

В содержание сельскохозяйственной метеорологии входит разработка методов агрометеорологического обслуживания хозяйств, опытных станций и других учреждений сельского хозяйства.

Наконец, к области сельскохозяйственной метеорологии относится разработка методики агроклиматического районирования, проблема наиболее рационального использования почвенно-климатических условий страны, а также использования земель окултурных и целинных, на равнинах и в горных областях.

Здесь перечислены только важнейшие разделы, которые входят в содержание сельскохозяйственной метеорологии. Все это проблема физическая. Поэтому можно сказать, что сельскохозяйственная метеорология — это физика в широком смысле, но взаимодействие с которой растут и развиваются животные и растения. Это наука физическая, опирающаяся на приложения и использование основных законов физики.

Следует отметить, что сельскохозяйственная метеорология не занимается изучением химических свойств и химических процессов, протекающих в среде; эти вопросы изучают агрохимия и биохимия.

Сельскохозяйственную метеорологию нельзя также смешивать с общей метеорологией, которая изучает атмосферу в целом и одной из главных задач своих считает предсказание погоды и изучение климата.

Предсказание погоды должно быть дано сельскому хозяйству в готовом виде. Однако агроном должен знать методы предсказания погоды и синоптические карты, чтобы свободно разбираться в том, что сообщает ему общегосударственная служба погоды.

Исключением являются методы предсказания погоды по местным признакам, которые агроному должны быть хорошо известны. Правильное предсказание погоды на несколько часов вперед может иметь большое производственное значение.

## **2. Краткая история возникновения сельскохозяйственной метеорологии**

Во все века земледелец придавал особое значение климату и погоде.

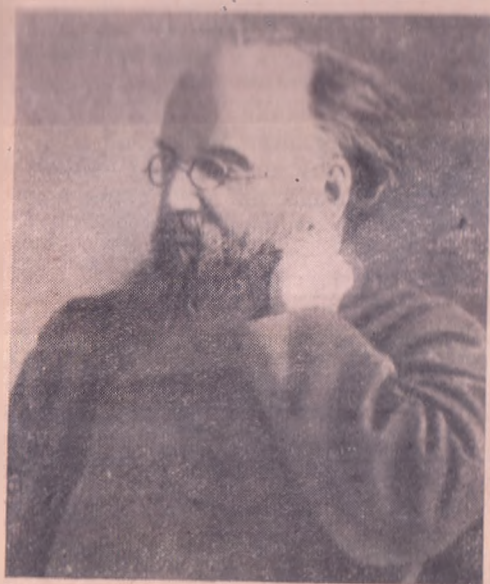
Еще в глубокой древности земледелец пытался по различным приметам предсказать погоду, от которой зависело все его благосостояние. Засухи, суховей, заморозки, ливни, ураганы, черные бури и другие явления зачастую уничтожали посевы и вызывали большие бедствия. При этих многовековых попытках найти способы предсказания погоды наблюдались явления метеорологические: ветер, облака, туманы, молнии, гром, оптические явления в атмосфере, снег, иней, изморозь, а также солнце, луна, звезды, реки, моря, слышимость звука, движение дыма и др.; наблюдались также растения и поведение животных.

Народные приметы заслуживают самого тщательного изучения. Среди них могут быть выявлены материалы большой научной и практической ценности, которые не только сами по себе составляют вклад в науку, но и в некоторых случаях могут натолкнуть на новые направления исследований.

Возникновение сельскохозяйственной метеорологии в климатологии нельзя приписать каким-либо отдельным ученым. Эти науки выросли в результате работы многочисленной группы ученых и практиков.

В первой половине XIX века появилось много журнальных статей по отдельным вопросам сельскохозяйственной метеорологии и климатологии. Содержание их заключалось главным образом в рассмотрении и развитии вопроса о предсказании погоды по различным признакам не только физическим, но и по поведению животных, насекомых, состоянию растений и др. При этом подчеркивалось большое значение правильного предсказания погоды и были попытки предсказания урожая.

Другое направление статей состояло в детальном рассмотрении климатических условий местности, отдельных губерний или районов и обсуждении условий развития, роста и урожая отдельных культур. Многие из статей представляли собой обстоятельные очерки по сельскохозяйственной климатологии.



А. И. Воейков.

В 1854 г. Д. Реутович выпустил первую на русском языке оригинальную книгу «Сельскохозяйственная метеорология». В ней рассмотрены главным образом вопросы предсказания погоды и использования их в сельском хозяйстве.

Много статей по сельскохозяйственной климатологии различных областей России написал акад. К. Весселовский. В 1857 г. вышел в свет его капитальный труд «О климате России», в котором затрагиваются также вопросы сельского хозяйства.

А. И. Воейков (1842—1916), известный метеоролог, разрабатывал вопрос о влиянии леса на климат

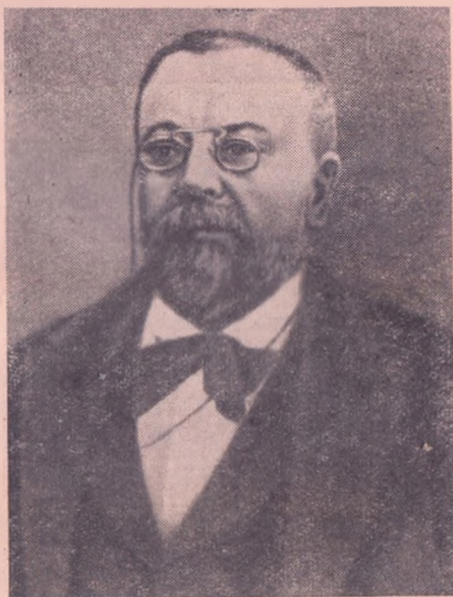
и в ряде статей доказывал важное значение леса в водном балансе почвы. Он указывал, что леса укрепляют берега рек и защищают их от размыва, защищают также от размыва склоны балок и препятствуют эрозии почвы, укрепляют пески, мешают снесу снега в овраги, защищают поля от ветров и тем способствуют сохранению влаги в почве, умеряют летние жары и засухи, способствуют увеличению количества дождей летом.

В 1888 г. метеорологическая комиссия Географического общества под председательством А. И. Воейкова разработала программу метеорологических наблюдений в сельском хозяйстве, а также программу наблюдений над высотой и характером снежного покрова.

А. И. Воейков указывал на возможность возделывания культуры хлопка в Средней Азии и чая в Закавказье. Он рекомендовал возделывать кукурузу на зерно и указывал районы, пригодные, по его мнению, для выращивания этой культуры.

В те же годы (1883—1886) известный ученый геофизик и метеоролог А. В. Клоссовский (1856—1917) организовал метеорологическую сеть на юго-западе России, которая охватывала обширную территорию от Молдавии до Крыма и от Одессы до Чернигова. На этой сети станций впервые велись наблюдения не только над метеорологическими элементами, но и над ростом и состоянием сельскохозяйственных культур.

В 1891 г. А. В. Клоссовский писал: «Солнце есть огромный производитель работ... Вся физическая жизнь нашей атмосферы заключается главным образом в преобразованиях этой (солнечной) энергии; за счет этой энергии происходят растительные процессы.» По всей вероятности, в каждой фазе своего развития растение требует известное количество солнечной теплоты и недочет ее тотчас же отражается на ходе дальнейших фаз».



А. В. Клоссовский.

Далее показано значение в жизни растения не только солнечной энергии, но и «суммы атмосферной влаги» и снежного покрова; в связи с этим подчеркивается важность применения в сельском хозяйстве искусственного орошения.

Отмечено также большое значение ветра как источника энергии для орошения.

Значение метеорологии в народном хозяйстве А. В. Клоссовский выражает следующими словами: «Сухие, длинные ряды цифр, наполняющие метеорологические фоллянты, перед запросами практической жизни, так сказать, оживают, рисуя яркими красками физический характер местной природы. При помощи этих бесконечных столбцов человек делается хозяином данной местности, получая возможность предотвращать вредное влияние известных атмосферных факторов в одном случае, утилизируя их даровую силу в другом»<sup>1</sup>.

А. В. Клоссовский наметил пути развития сельскохозяйственной метеорологии; он писал: «границы собственно прикладной метеорологии начинаются там, где наступает совместная работа метеорологов и людей практики, там, где объектом изучения является параллельно погода и какая-нибудь определенная область практической жизни, например погода и заболеваемость, погода и снежные заносы, погода и сельскохозяйственные явления».

<sup>1</sup> А. В. Клоссовский. Ответы современной метеорологии на запросы практической жизни. Метеорологический вестник, 1891.

Метеорологические станции 3-го разряда проводят метеорологические наблюдения в климатические сроки, осуществляют систематический анализ и обработку наблюдений и выполняют другие виды наблюдений и работ, устанавливаемые УГМС.

С 1 января 1966 г. на всей сети гидрометеорологических станций введена восемь обязательных сроков метеорологических наблюдений в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 час по московскому времени.

Имеются также специализированные станции, которые ведут дополнительные наблюдения для обслуживания сельского хозяйства, воздушного и морского флота, железнодорожного транспорта, курортов и др.

Инструкции для наблюдений вырабатываются гидрометслужбой.

Результаты наблюдений каждой станции срочно сообщаются гидрометеорологическому центру, который составляет сводку всех наблюдений, проводит анализ состояния атмосферы и составляет предсказание погоды, которое немедленно передается по радио колхозам и совхозам, отгонным пастбищам, станциям железнодорожного и автобусного транспорта, пристаням, пароходам, находящимся в пути, аэродромам, самолетам, находящимся в полете, и др.

## АТМОСФЕРА И ЕЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

## 1. Состав атмосферы

Атмосфера представляет собой механическую смесь газов, химически не действующих друг на друга.

В нижнем слое состав сухого воздуха характеризуется данными таблицы 1.

Таблица 1

Состав сухого воздуха

Газ	Содержание отдельных составных частей (в %)		Плотность по отношению к воздуху
	по объему	по весу	
Азот	78,08	75,52	0,9672
Кислород	20,95	23,15	1,1055
Аргон	0,93	1,28	1,3775
Углекислый газ	0,03	0,05	1,5291
Воздух	—	—	1,0000

Эти данные не совсем точны. В состав атмосферы входит еще ряд других газов, как, например, неон, криптон, ксенон, гелий, водород, озон и другие, однако количество каждого из них незначительно.

Так как атмосфера находится в условиях непрерывного движения и перемешивания, то приведенное в таблице содержание азота и кислорода почти постоянное по всей земной поверхности и до значительной высоты. Процентное содержание тяжелого углекислого газа остается почти постоянным до высоты 4 км, после чего начинает уменьшаться.

Кроме указанных постоянных составных частей, в состав атмосферы также входят переменные части, содержание которых в атмосфере может измениться в больших пределах. К ним прежде всего следует отнести водяной пар. Это единственная составная часть, которая в реально наблюдаемых температурных условиях свободной атмосферы может быть в твердом, жидком и газообразном состоянии; количество водяного пара



может достигать по объему 4%. Водяной пар имеет большое значение во всех физических процессах в атмосфере, а также в жизни растения, животного и человека; поэтому изучению его отведена специальная глава.

В состав атмосферы входит озон ( $O_3$ ), ряд других газов, а также пыль, играющая существенную роль в некоторых физических процессах в атмосфере, особенно при конденсации водяных паров, рассеянии света, изменении окраски небосвода и др.

Озон ( $O_3$ ). В верхних слоях атмосферы в слое от 10 до 50 км под воздействием ультрафиолетовых лучей солнечного спектра образуется аллотропическое видоизменение кислорода — озон. Наибольшее количество его наблюдается в слое 20—25 км; отсюда в обе стороны вверх и вниз количество его убывает.

Содержание озона можно определить, изучая интенсивность его полос поглощения в солнечном спектре. Для этого проводят наблюдения с поверхности земли, а также поднимают прибор (спектрограф) в верхние слои атмосферы. По интенсивности поглощения в ультрафиолетовой области спектра и определяют изменение количества озона. Содержание озона определяют также при помощи анализа проб воздуха.

Значение озона, так же как водяного пара и углекислого газа, заключается в том, что он влияет на поглощение и излучение атмосферной лучистой энергии; следовательно, озон оказывает большое влияние на тепловой режим атмосферы.

Особенно сильно озон поглощает короткие волны солнечного спектра, имеющие большое значение в биологии. Благодаря озону солнечный спектр со стороны коротких волн имеет четкий конец на длине волны около 210 м $\mu$ . Если бы все короткие волны не были задержаны озоном и другими составными частями атмосферы и доходили до земной поверхности, то они оказали бы губительное действие на все современные организмы, которые должны были бы выработать другую форму существования.

Пыль образуется в результате выветривания горных пород и почвы, а также при сгорании в верхних слоях атмосферы метеоритов. Большие количества пыли выбрасываются в атмосферу при лесных пожарах, вулканических извержениях, сгорании угля, испарении морской воды.

Так, при извержении вулкана Кракатау в 1888 г. количество пыли было таково, что ею был окутан весь земной шар. Пыль уменьшила интенсивность солнечной радиации, вызвала появление особой окраски утренней и вечерней зари, выпала из атмосферы в течение нескольких лет.

Источником пыли является также поверхность почвы, особенно в пустыне. Ветер, тепловая конвекция и турбулентные движения поднимают мельчайшие элементы почвы и затем разносят их по земному шару. Сухие черноземные области также являются источником пыли. Сильные ветры иногда поднимают в воздух пыльный

стой размельченной и сухой земли и разносят ее на большие пространства; так возникают «черные бури».

Особое значение имеют мельчайшие частицы гигроскопических веществ. Поглощая влагу из атмосферы, они легко образуют водные растворы и затем мельчайшие так называемые зародышевые капли. При благоприятных условиях зародышевые капли растут и образуют капли дождя. Гигроскопические частицы образуются при испарении брызг морской воды, сгорании угля, гниении органических веществ.

В атмосфере имеется также пыль органического происхождения, состоящая из бактерий, вирусов, пыльцы растений и других мельчайших организмов. Иногда пыль является причиной возникновения «сухой мглы», «сухого, или черного, тумана», которые на больших площадях могут вызвать заболевание растений: мельчайшие пылинки забивают устья растений и нарушают физиологические процессы.

Пыль играет существенную роль в радиационном и тепловом режиме атмосферы. Пылинка нагревается до более высокой температуры, чем окружающий воздух, и способствует нагреванию атмосферы. Пылинка отражает и рассеивает падающую на нее солнечную радиацию.

Число пылинок, заключающихся в  $1 \text{ см}^3$ , колеблется в больших пределах — от сотен и до сотен тысяч.

Для изучения пыли имеются специальные приборы.

**Ионы.** В атмосфере находятся молекулы газов и другие мельчайшие частички, несущие на себе один элементарный заряд; это так называемые легкие ионы. Если такие ионы осаждаются на пылинках или на капельках воды, то образуются тяжелые ионы, обладающие значительно меньшей подвижностью.

С высотой в свободной атмосфере число ионов возрастает. В связи с этим с высотой увеличивается электропроводность воздуха.

## 2. Состав почвенного воздуха

Почвенный воздух не имеет такого постоянства состава, как воздух свободной атмосферы. В почве постоянно происходит процессы выделения углекислого газа, например при гниении органических остатков. Интенсивность гниения, а следовательно, количество выделяемого в единицу времени углекислого газа не является постоянным, а зависит от метеорологических условий, прежде всего от температуры и влажности почвы. Чем выше температура почвы и ее влажность, тем интенсивнее идет процесс гниения, тем больше выделяется углекислого газа.

В почве постоянно происходят процессы поглощения кислорода и азота различными бактериями. Кроме того, перемешивание и газообмен в почве чрезвычайно затруднены.

Поэтому в малых объемах в почве состав почвенного воздуха может быть различным, с большим содержанием одних составных частей и с недостатком других. Для почвенного воздуха нельзя дать такой таблицы постоянного состава, как для воздуха свободной атмосферы, можно указать лишь наблюдавшиеся пределы, в которых колеблется содержание каждой составной части (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Состав почвенного воздуха

Газ	Пределы, в которых колеблется содержание отдельных составных частей почвенного воздуха (в % по объему)
Азот	От 78 до 87
Кислород	» 10 » 20
Углекислый газ	» 0,01 » 10—12

### 3. Газообмен почвенного воздуха с приземным слоем воздуха атмосферы

Между почвенным воздухом и приземным слоем воздуха свободной атмосферы происходит непрерывный газообмен. Этому содействует *колебание давления воздуха*. При понижении давления воздух частично выходит из почвы и поступает в свободную атмосферу. Наоборот, при повышении давления наружный воздух входит внутрь почвы. Так как колебание давления воздуха происходит непрерывно, то вызываемый этими колебаниями газообмен также происходит непрерывно и постоянно.

Газообмену почвенного воздуха со свободной атмосферой содействует также *ветер*. Выходы из почвы по своему направлению могут быть встречными направлению ветра или попутными. В первом случае ветер нагнетает воздух в почву, во втором — высасывает. Так как выходы из почвы имеют различные направления, то ветер одновременно в одних местах высасывает воздух из почвы и нагнетает в других, что, так же как и колебание давления воздуха, является важным фактором газообмена.

При нагревании солнечной радиацией поверхностного слоя почвы *имеющийся в нем воздух также нагревается и становится менее плотным*; более холодный воздух, поступающий сверху из свободной атмосферы и сбоку от мест, менее нагретых, вытесняет его вверх. В результате в атмосфере развиваются вертикальные движения, способствующие газообмену почвенного воздуха со свободной атмосферой.

Существенным фактором газообмена является также диффузия газов и рельеф. Наконец, газообмену содействуют *осадки*. Они

заполняют поры почвы и механически вытесняют отсюда почвенный воздух. После просачивания осадков в глубь почвы свободные объемы в ней снова заполняются воздухом атмосферы. Влиянием осадков вследствие незначительности можно пренебречь.

Следует отметить, что интенсивность газообмена зависит также от *структуры почвы*. Если структура почвы мелкокомковатая, с размером комков от 0,1 до 1 см, то ходы между комками широкие, газообмен происходит интенсивно, состав почвенного воздуха все время обновляется. Если же структура почвы пылевидная<sup>1</sup>, то выходы из почвы становятся узкими, капиллярными; вентиляция и газообмен, несмотря на наличие указанных факторов газообмена, крайне затруднены. Корневая система растений и бактерии оказываются в среде, обогащенной углекислым газом или с недостающим количеством необходимых им газов — кислорода и азота. Растение оказывается в неблагоприятных условиях, угнетается и прекращает нормальный рост и развитие.

#### 4. Значение отдельных составных частей воздуха для сельского хозяйства

Рассмотрим значение отдельных составных частей атмосферы.

Наибольший объем (78%) занимает азот. В свободном виде азот растениями не усваивается, однако служит пищей для некоторых низших организмов, бактерий, находящихся в почве.

Многие бобовые растения (клевер, люцерна, соя, полевой горох, вика и др.) при посредстве бактерий могут усваивать азот; бактерии связывают его в клубеньках корней (рис. 1).

Эта способность бобовых растений связывать молекулярный азот при помощи бактерий имеет большое сельскохозяйственное значение. Количество связываемого ими азота очень велико; оно не только обеспечивает потребность самих растений и усиленное снабжение азотистыми веществами семян, но и повышает общее содержание связанного азота в почве. Этот органический азот при содействии других бактерий переходит в минеральный, сначала в аммиак, а затем в азотистую и азотную кислоту, которая в виде солей (селитры) является почти единственным источником азотистого питания всех растений, особенно хлебов.

В атмосфере азот находится также в связанной форме, т. е. в виде различных химических соединений — паров аммиака, а также оксидов азота. Значительное количество соединений азота находится в почве; здесь имеются неорганические соединения азота,

---

<sup>1</sup> Агрономы такую почву называют бесструктурной, но это название неправильное; бесструктурной почвы не может быть, так же как не может быть почвы без объема, веса и т. п. Структура почвы — одна из основных физических характеристик каждой почвы.

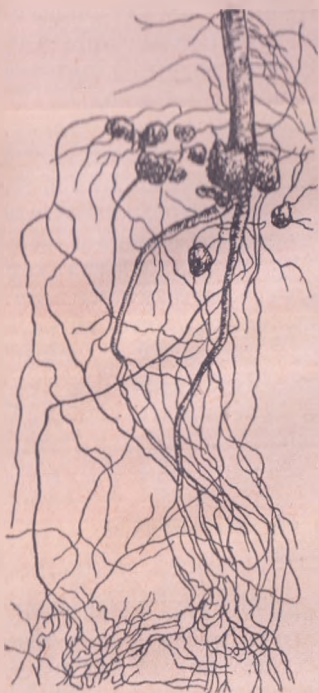


Рис. 1. Клубеньки на корнях сои.

соли аммиака, соли азотной и азотистой кислот; имеются также органические соединения в виде гумуса. Однако минеральные соединения азота являются наилучшими источниками этого элемента для растений.

Азот входит в состав растения в небольшом количестве, однако он является необходимой составной частью растения. «Без азота, — пишет академик Н. А. Максимов, — не может быть жизни, так же как и без углерода, водорода и кислорода. И хотя количественно азот уступает этим трем элементам, составляющим около 95% сухого вещества растения, и на его долю приходится всего лишь около 1—3%, тем не менее для питания и роста растения добывание азота является задачей и не менее важной»<sup>1</sup>.

Азот — необходимая составная часть белковой молекулы, а белковые вещества — важнейшая составная часть протоплазмы.

Кислород, занимающий по объему 21%, — важнейшая составная часть воздуха; этот газ необходим во всех процессах дыхания, горения, разложения

и гниения органического вещества. Растение при дыхании поглощает кислород и выделяет углекислый газ. Отсутствие кислорода приводит животных и растительный организм к гибели.

Углекислый газ. Воздух всегда содержит углерод в виде его соединения — углекислого газа. Но количество его ничтожно мало, всего 0,03% по объему. Однако роль этого газа в физиологических процессах растения огромна.

«... только это ничтожное количество углерода в атмосфере, — пишет К. А. Тимирязев, — делает возможным существование растений, а следовательно, и существование человека с его земледелием»<sup>2</sup>.

Источником углекислого газа являются вулканические извержения, процессы горения, дыхания, гниения. В значительных количествах углекислый газ выделяется из почвы. Важнейшим по-

<sup>1</sup> Н. А. Максимов. Краткий курс физиологии растений. М., 1948, стр. 203.

<sup>2</sup> К. А. Тимирязев. Избр. соч. в четырех томах. Сельхозгиз, 1948, т. II, стр. 73.

глотителем углекислого газа является океан (свыше 80% всего образующегося углекислого газа), а также зеленые части растений.

Углекислый газ необходим растениям для основного физиологического процесса, обуславливающего их рост и развитие, — ассимиляции, питания.

И. В. Мичурин придавал углекислому газу большое значение в процессах развития и роста растений.

Излагая вопрос о воспитании гибридных семян, И. В. Мичурин указывал, что выращивать пикированные гибридные семена растений необходимо в возможно более защищенных от ветра местах. Это нужно потому, что семена в раннем периоде развития, когда еще мало листьев, нуждаются для питания в большом насыщении окружающего воздуха углекислотой, а этот газ обильно выделяется разлагающимся органическим веществом почвы и рассеивается в атмосфере, особенно ветром.

И. В. Мичурин указывает далее, что углекислый газ имеет особенно важное значение именно в первые годы развития и роста растения, когда молодой организм легче поддается воздействию внешней среды.

139427  
Содержащееся в атмосфере количество углекислого газа недостаточно для растений. Многочисленные опыты с повышением концентрации  $\text{CO}_2$  около растения в большинстве случаев показали, что это влечет за собой увеличение интенсивности фотосинтеза, лучший рост и развитие растения, повышает урожайность. Оптимальное процентное содержание углекислого газа для различных видов растений и даже для отдельных сортов растений различно. На рисунке 2 показана зависимость фотосинтеза хвои сосны от содержания в воздухе  $\text{CO}_2$ .

Прием увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере способствует повышению урожайности культур. В закрытом грунте прием

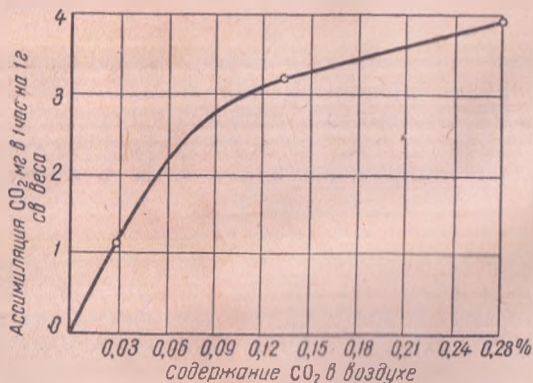


Рис. 2. Фотосинтез хвои сосны в зависимости от содержания в воздухе  $\text{CO}_2$ .

повышения содержания  $\text{CO}_2$  в воздухе применяется часто. В условиях открытого грунта это более затруднительно, так как при наличии ветра газ разносится на большой объем воздуха. В связи с этим особое значение приобретают кулисные посадки высокостебельных растений. Если такие кулисы перпендикулярны направлению ветра, то они существенно ослабляют скорость ветра среди растений у поверхности почвы и препятствуют выдуванию  $\text{CO}_2$ . Если кулисные растения посажены в двух взаимно перпендикулярных направлениях и образуют клетки, то они затрудняют выдувание независимо от направления ветра. Если же направление кулисных насаждений совпадает с направлением ветра, то они способствуют усиленному выдуванию углекислого газа.

Обратный процесс поглощения углекислого газа из атмосферы совершается зелеными частями растений, которые при солнечном свете ассимилируют, разлагают углекислый газ, усваивая углерод и выделяя кислород; в больших количествах углекислый газ поглощается водами океанов и морей, вымывается осадками.

Взаимодействием процессов выделения и поглощения углекислого газа поддерживается то равновесие, которое наблюдается в настоящее время.

Ночью количество углекислого газа в атмосфере больше, чем днем; это отчасти результат отмеченной выше деятельности растений, а также результат возникновения в дневные часы усиленного вертикального и турбулентного перемешивания. В ясные и солнечные дни процесс питания растений — ассимиляция, а также вертикальные токи и турбулентное перемешивание усиливаются; поэтому в ясные солнечные дни количество углекислого газа в приземном слое воздуха уменьшается.

В закрытых помещениях при скоплении людей или животных содержание углекислого газа резко возрастает и вредно действует на организм. *Поэтому систематическая вентиляция помещений является важным правилом гигиены.*

Углекислый газ легко проникает для радиации, излучаемой солнцем, и трудно проникает для длинных волн, излучаемых землей. Приблизительно 18% земного излучения задерживается углекислым газом. Поэтому углекислый газ, находящийся в воздухе, оказывает отепляющее влияние на земную поверхность. Чем больше в воздухе углекислого газа, тем меньше тепла уходит от земной поверхности путем излучения, тем выше температура этой поверхности.

Отепляющим действием углекислого газа пытались объяснить геологические колебания климата. Так как вулканическая деятельность земли в различные эпохи была различной, то, очевидно, в содержании углекислого газа также изменялось в больших пределах. В каменноугольный период большое содержание углекислого газа было причиной более высокой температуры земного шара,

а также необычайного развития растительности, которая образовала потребляемые в настоящее время огромные запасы каменного угля, представляющие собой концентрат усвоенной в те далекие эпохи солнечной энергии.

### 5. Вес воздуха и его плотность

Впервые воздух был взвешен в середине XVII столетия после изобретения воздушного насоса. Оказалось, что  $1 \text{ м}^3$  воздуха при давлении  $760 \text{ мм}$  и температуре  $0^\circ$  весит  $1,293 \text{ кг}$  (при давлении  $1000 \text{ мм}$   $1 \text{ м}^3$  воздуха весит  $1,276 \text{ кг}$ ).

При повышении давления количество молекул воздуха в  $1 \text{ м}^3$  увеличивается; следовательно, при повышении давления вес  $1 \text{ м}^3$  воздуха будет также увеличиваться, при понижении давления — уменьшаться. Чтобы ввести поправку на величину давления воздуха, необходимо  $1,293$  помножить на  $\frac{P}{760}$ , где  $P$  давление воздуха в миллиметрах. Если  $P = 760$ , то этот поправочный множитель равен единице; если  $P > 760$ , то множитель больше единицы и вес  $1 \text{ м}^3$  повышается. Если  $P < 760$ , то множитель превращается в правильную дробь и соответственно уменьшается вес  $1 \text{ м}^3$  воздуха.

Влияние температуры воздуха имеет обратный характер. При повышении температуры воздух расширяется, часть молекул выходит из данного объема, и воздух становится легче; при понижении температуры вес  $1 \text{ м}^3$  воздуха увеличивается. По закону Гей-Люссака при повышении температуры газа на  $1^\circ$  его объем увеличивается на  $\frac{1}{273}$  первоначального объема. Поэтому поправочный множитель на температуру может быть выражен формулой:

$$\frac{1}{1 + \frac{t}{273}}$$

где  $t$  — температура воздуха.

При  $t = 0^\circ$  поправочный множитель равен единице; если температура положительная, то знаменатель больше числителя и поправочный множитель представляет собой правильную дробь; вес  $1 \text{ м}^3$  воздуха уменьшается. Чем выше температура, тем меньше плотность воздуха. Если же температура отрицательная, то в знаменателе стоит правильная дробь, так как из единицы вычитается какая-то величина. В этом случае поправочный множитель больше единицы, т. е. плотность воздуха увеличивается.

Если обе поправки на давление и температуру объединить, то формулу для расчета веса  $1 \text{ м}^3$  воздуха можно написать в следующем виде:

$$B = 1,293 \cdot \frac{1}{1 + \frac{t}{273}} \cdot \frac{P}{760}$$



Здесь  $B$  — вес 1 м<sup>3</sup> воздуха, или плотность воздуха (в кг/м<sup>3</sup>);  
 $t$  — температура воздуха (в градусах);  
 $P$  — давление воздуха (в мм).

После элементарных преобразований получим:

$$B = \frac{1,293 \times 273}{760} \cdot \frac{P}{273 + t},$$

или окончательно:

$$B = 0,4645 \frac{P}{273 + t}. \quad (1)$$

Пример. Допустим, что  $P = 740$  мм и  $t = 17^\circ$ . Применяя формулу (1), получим:

$$B = 0,4645 \cdot \frac{740}{273 + 17} = 1,185 \text{ кг м}^{-3}.$$

Вес 1 м<sup>3</sup> сухого воздуха при заданных условиях равен 1,185 кг.

Коэффициент 0,4645 получен на основании предположения, что нормальное давление равно 760 мм и давление  $P$  выражается в миллиметрах.

Если давление выразить в миллибарах или в килограммах на квадратный метр, то соответственно изменится и значение коэффициента.

В приведенной формуле не учитывается влажность воздуха, так как влияние ее на плотность воздуха, т. е. на вес 1 м<sup>3</sup> воздуха, невелико.

## 6. Давление воздуха (статика)

Воздух имеет вес, следовательно, он притягивается землей и давит на земную поверхность.

Для измерения давления воздуха пользуются барометром.

Затянутая с одного конца стеклянная трубка (рис. 3) длиной около 1 м наполняется ртутью. Если закрыть отверстие трубки пальцем, опрокинуть ее в чашку с ртутью и отвести палец, то ртуть из трубки частично выльется в чашку. В трубке останется столб ртути 1—2. В части трубки 3 воздуха нет; там имеется только ничтожное количество паров ртути, давление которых не принимается в расчет.

Ртуть может свободно перемещаться из чашки в трубку и обратно. Если она находится в состоянии покоя, то это показывает, что на единицу горизонтальной поверхности одного и того же любого уровня в чашке и в трубке давление одинаково.

Опыт показывает, что высота ртути в трубке, или, как говорят, высота барометра, в среднем равна 76 см; умножая эту величину

на удельный вес ртути 13,6, получим величину атмосферного давления в граммах на 1 см<sup>2</sup>:

$$P = 76 \times 13,6 \approx 1033,3 \text{ г/см}^2.$$

Таким образом, *давление воздуха на 1 см<sup>2</sup> поверхности равно 1033,3 г, или, грубо округляя, 1 кг/см<sup>2</sup>. Легко рассчитать, что на площадь 1 м<sup>2</sup> давление воздуха составляет свыше 10 т.*

Так как давление столба жидкости на единицу поверхности, по закону Паскаля, зависит только от разности уровней, т. е. от высоты столба жидкости, то давление воздуха можно характеризовать в условных единицах — *высотой столба ртути, выраженной, например, в миллиметрах*. Следовательно, можно сказать, что давление воздуха равно, например, 760 мм ртутного столба.

Давление воздуха можно также измерить в абсолютных единицах силы, в динах, т. е. в общепринятых в физике единицах — сантиметр—грамм—секунда (система СГС). Для этого массу столба ртути, которая давит на единицу площади, следует умножить на ускорение силы тяжести. Если рассчитать на 1 см<sup>2</sup>, то получится:

$$1033,3 \times 980,6 = 1\,013\,250 \text{ дин/см}^2.$$

Давление 760 мм ртутного столба соответствует 1 013 250 дин/см<sup>2</sup>.

Кеппен предложил принимать за нормальное давление 1 млн. дин и назвать его «бар», за единицу измерения принять тысячную долю бара и назвать ее «миллибар». Легко рассчитать, что 1 млн. дин, т. е. *одному бару, соответствует давление 750,1 мм; одному миллибару соответствует 0,75 мм ртутного столба.*

*И наоборот, одному миллиметру ртутного столба соответствует 1,333 миллибара.*

Таким образом, давление воздуха можно измерить:

- 1) в килограммах или граммах на единицу площади — на 1 м<sup>2</sup> или 1 см<sup>2</sup>;
- 2) высотой ртутного столба в миллиметрах (см);
- 3) в абсолютных единицах силы — в динах на 1 см<sup>2</sup> или в миллибарах (мб).

Числа 760 мм рт. ст., 1033,3 г/см<sup>2</sup>, 1013 мб выражают одну и ту же физическую величину, только в разных единицах.

В настоящее время давление воздуха, а также давление водяного пара, как правило, измеряют в м и л л и б а р а х. Однако на многих метеорологических станциях приборы для измерения

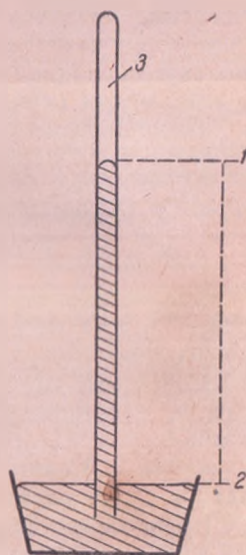


Рис. 3. Схема ртутного барометра.

давления остались с прежней миллиметровой шкалой. Поэтому измерения давления практически ведут в миллиметрах, а затем, пользуясь специальной таблицей, полученные величины переводят в миллибары (приложение 6).

Давление воздуха на уровне моря колеблется от 887 до 1080 мб.

### 7. Изменение давления воздуха с высотой. Формула барометрического нивелирования

Давление воздуха с высотой уменьшается, так как на каждую более высоко расположенную поверхность давит меньшая масса атмосферы.

Допустим, что на двух уровнях, расположенных один над другим на расстоянии  $H$  метров, измерено давление воздуха и его температура. Пусть на нижнем уровне давление равно  $P_0$  и температура  $t_0$ . Соответственно на верхнем уровне давление и температура будут равны  $P$  и  $t$ .

Предполагается, что в заданном слое температура изменяется по линейному закону, равномерно.

Теория показывает, что закон изменения давления воздуха с высотой определяется следующей формулой:

$$H = 18400 \left( 1 + 0,00366 \frac{t_0 + t}{2} \right) \lg \frac{P_0}{P}. \quad (1)$$

Здесь  $\frac{t_0 + t}{2}$  — средняя температура слоя воздуха.

Формула (1) называется формулой барометрического нивелирования.

Формулу (1) можно упростить, тогда она примет вид:

$$H = 16000 \left( 1 + 0,00366 \frac{t_0 + t}{2} \right) \frac{P_0 - P}{P_0 + P}. \quad (2)$$

Преимущество этой формулы по сравнению с формулой (1) заключается в том, что пользование ею не требует применения логарифмов. Однако точность формулы (2) меньше точности формулы (1).

Формулой (2) допустимо пользоваться в случае, если  $H$  — разность высот двух точек или уровней — не превышает 1,5 км.

### 8. Барометрическое нивелирование

Для изучения рельефа данного хозяйства и составления соответствующей карты проходят по заранее намеченному маршруту и в ряде пунктов отмечают давление воздуха и температуру. Из-

мерения следует проводить достаточно часто, особенно в местах резко выраженного пересеченного рельефа (овраги или горы). По результатам измерений, пользуясь барометрической формулой, вычисляют высоты всех пунктов наблюдения.

Если затем полученные высоты нанести на план местности и провести непрерывные линии, соединяющие точки с одинаковой высотой, так называемые горизонталы, то в результате получится гипсометрическая карта местности, на которой будут отражены все особенности рельефа.

По такой карте легко определить наклон отдельных полей и их ориентировку по странам света. Эти данные имеют важное значение для объяснения светового, теплового, водного и ветрового режима отдельных полей и могут быть использованы для разработки правильного и научно обоснованного распределения культур по полям данного хозяйства.

## 9. Распределение давления воздуха с высотой

Пользуясь формулой барометрического нивелирования, можно вычислить распределение давления воздуха с высотой.

Для Средней Европы давление воздуха распределяется с высотой следующим образом:

Высота (в км) . . . . .	0	1	2	3	4	5	6
Давление (в мм) . . . . .	760	674	596	525	461	403	352

Числа эти грубо ориентировочны.

Приведенные данные показывают, что на высоте около 5,5 км давление вдвое меньше, чем у земной поверхности.

Отметим, что наиболее высокие населенные пункты и отгонные пастбища находятся на высоте 3—4 км.

Таблица показывает также, что падение давления с высотой неравномерно: вначале у земной поверхности падение идет сильно, но с высотой замедляется. При подъеме от земной поверхности до высоты 2 км давление падает на 164 мм; в слое от 2 до 4 км падение равно 135 мм и в слое от 4 до 6 км равно 109 мм.

Неравномерность падения давления можно установить и другим путем. Решим такую задачу: определим, на сколько метров следует подняться или опуститься, чтобы величина давления воздуха изменилась на 1 мм. Предположим, что температура слоя равна 0°; давление на нижнем уровне 760 мм; на верхнем 759 мм. Подставляя эти числа в формулу (2), получим:

$$H = \frac{16000}{760 - 759} = 16000 \text{ м.}$$

Эта величина носит название *барической ступень*. Так как числитель — постоянное число, а знаменатель — величина давления, то чем меньше будет давление, тем больше барическая ступень, или чем выше над уровнем моря, тем медленнее падает давление. У земной поверхности барическая ступень равна 10,5 м, на высоте 5 км, где давление вдвое меньше, барическая ступень будет вдвое больше, т. е. приблизительно 21 м.

Величина барической ступени у земной поверхности (10,5 м) колеблется, с какой точностью можно проводить барометрическое нивелирование.

Хороший анероид дает возможность определить давление воздуха с точностью до 0,1 мм. Следовательно, точность изучения рельефа 1 м. На ровной местности с небольшими изменениями высоты применять барометрическое нивелирование не следует, так как измеряемые величины могут оказаться в пределах ошибок измерения.

## 10. Распределение давления воздуха по горизонтали. Горизонтальный барический градиент

Допустим, что в какое-то заранее условленное время давление воздуха было измерено на ряде метеорологических станций. Чтобы по этим данным можно было судить о распределении давления воздуха по стране, необходимо все значения давления свести к одному и тому же уровню, например к уровню моря, и сделать их сравнимыми между собой. Затем все числа следует нанести на географическую карту: каждое около того места, где оно наблюдалось. В результате получится географическая карта с нанесенным на ней большим количеством чисел. Чтобы легче было разобраться в этих числах и яснее представить себе распределение давления воздуха по всей территории, применяют графический способ: *точки с одинаковым значением давления соединяют непрерывной кривой, которая называется изобара, или кривая равного давления*.

Величины давления, для которых вычерчивают изобары, могут быть любыми. Обычно изобары вычерчивают для значений давления через каждый 5 мб.

На рисунке 4 слева изображена географическая карта с нанесенными на ней значениями давления воздуха; справа дана та же карта с проведенными на ней изобарами. Карта наглядно свидетельствует о преимуществе графического метода: обнаружилось, что в центре имеется *область низкого давления*; справа внизу — *область с высоким давлением*; в других местах карты имеются другие, переходные формы «барического рельефа». Здесь могут быть так называемые ложбины, гребни, седловины и другие формы.

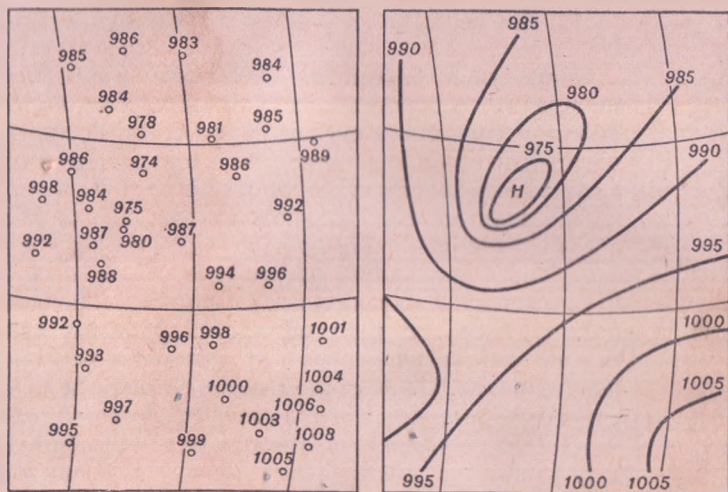


Рис. 4. Изобары.

Изобары, как правило, представляют собой неправильные замкнутые кривые. Они размыкаются только на краях рисунка, который не охватывает достаточно большой площади.

Изобары не могут пересекаться, так как это означало бы, что в точке пересечения одновременно существуют два разных значения давления. Все точки, расположенные на одной и той же изобаре, имеют одно и то же давление.

Если перемещаться от какой-либо точки одной изобары к любой точке другой изобары, имеющей, например, более низкое давление, то величина давления будет непрерывно понижаться. В зависимости от того, как далеко находится точка второй изобары, падение давления на единицу расстояния будет разным.

Чтобы можно было сравнивать величины изменения давления, полученные для различных мест, принято определять это изменение в миллибарах на единицу расстояния по кратчайшему расстоянию между изобарами, по перпендикуляру к изобарам. За единицу расстояния принимается 100 км. Величина изменения давления на 100 км по направлению, перпендикулярному к изобарам, называется горизонтальным барическим градиентом. При этом направление в сторону уменьшения давления считается положительным.

Горизонтальные градиенты давления обычно имеют величину 1—3 мб на 100 км. Однако в областях низкого давления горизонтальные градиенты давления могут быть значительно больше.

ных коробок имеется плоская пружина рессорного типа, которая стремится растянуть коробку<sup>1</sup>.

На верхней анероидной коробке (рис. 7) имеется штифт 4, упирающийся в ломаный рычаг на шарнирах, который оканчивается пером 5, скользящим по ленте. Длина пера равна радиусу, которым проведены дуги на ленте.

Если давление увеличивается, то коробки сдавливаются, увлекают за собой штифт и короткий конец рычага 4, все прочие рычаги поднимаются, перо чертит кривую, поднимающуюся вверх. При уменьшении давления перо чертит на ленте понижающуюся кривую.

Особый рычажок, расположенный внизу или сбоку прибора, позволяет отвести перо от ленты и прекратить запись или, наоборот, подвести перо к ленте и начать запись.

Барограф дает возможность ориентироваться в предстоящей погоде на несколько часов вперед (гл. X).

Краткосрочные предсказания погоды в производстве могут иметь существенное значение. Поэтому барограф должен быть в каждом хозяйстве.

## 12. Теплоемкость воздуха

*Теплоемкость — количество тепла, необходимое для повышения температуры тела на 1°; она выражается в калориях.*

Теплоемкость воздуха, как и всякого газа, зависит от условий, в которых происходит его нагревание.

Если нагреваемый объем воздуха находится в замкнутом сосуде и при нагревании, несмотря на возрастающую упругость, не изменяет своего объема, то количество тепла, необходимое для повышения температуры единицы массы газа на 1°, называется удельной теплоемкостью при постоянном объеме и обозначается  $C_v$ .

Если же объем воздуха при нагревании может расширяться и таким путем выравнивать свою постоянно возрастающую упругость с давлением окружающего воздуха, то количество тепла, необходимое для нагревания единицы массы на 1°, называется удельной теплоемкостью при постоянном давлении и обозначается  $C_p$ .

Измерения показали, что при нагревании на 1° одного грамма воздуха  $C_v = 0,17$  кал/г·град и  $C_p = 0,24$  кал/г·град.

Эти числа показывают, что теплоемкость газа при постоянном давлении значительно больше, чем теплоемкость при постоянном объеме. Причина этого заключается в том, что при расширении

<sup>1</sup> Новейшие модели барографа делаются без пружин. Роль пружины выполняют упругие мембраны (с волнистой поверхностью) коробки. Принцип действия в этих приборах состоит из нескольких коробок, которые могут сообщаться между собой и имеют общее вакуумное пространство, или каждая коробка может быть обособлена.

газа совершается работа, на выполнение которой требуется затрата известного количества энергии. Поэтому  $C_p$  больше  $C_v$ . Разность этих величин равна количеству энергии, затраченной на работу расширения и выраженной в калориях, т. е.

$$C_p - C_v = A \cdot P, \quad (1)$$

где  $P$  — выполненная работа расширения;  
 $A$  — тепловой эквивалент единицы работы.

### 13. Теплопроводность воздуха. Понятие о турбулентном движении

Теплопроводность характеризует способность вещества проводить тепло.

*Теплопроводность воздуха, находящегося в спокойном, неподвижном состоянии, определяется молекулярным движением.*

При этих условиях величина молекулярной теплопроводности воздуха ( $K_m$ ) имеет очень малую величину:

$$K_m = 0,000056 \text{ кал/см град} \cdot \text{сек}$$

Для сравнения отметим, что

теплопроводность серебра равна	.....	1,00000
> воды	> .....	0,00130
> флanelи	> .....	0,00004

Незначительная величина молекулярной теплопроводности воздуха имеет большое значение для сельского хозяйства.

Защитное действие снежного покрова от влияния низких температур воздуха на температуру почвы и на озимые посевы зависит главным образом от воздуха, находящегося между снежными кристаллами и частицами снега. Очевидно, слежавшийся снег, заключающий в себе меньшее количество воздуха, оказывает меньшее защитное действие, чем свежеснежавший.

Мех животного является хорошим теплоизолятором также вследствие заключенного в нем воздуха. Теплоизоляционные свойства таких материалов, как, например, войлок, полые кирпичи или блоки, также основаны на малой теплопроводности неподвижного воздуха.

В естественных условиях в свободной атмосфере воздух находится в *непрерывном движении*. Если воздух движется послойно, частицы его движутся прямолинейно, упорядоченно, то такой характер движения называется *ламинарным*. Если же частицы воздуха движутся по различным сложным, беспорядочным, частично вихревым траекториям, то такой беспорядочный характер движения воздуха называется *турбулентным*.



Подпорожение турбулентных движений в атмосфере происходит в связи с неровностями земной поверхности или имеющимися на ней препятствиями — лес, насаждения, строения и т. п.

Толщина слоя воздуха, в котором развиваются турбулентные движения, зависит главным образом от скорости движения воздушных масс и имеющихся на пути препятствий и нарушений горизонтальности рельефа.

Турбулентные движения возникают также на поверхности раздела между двумя движущимися одна относительно другой воздушными массами, имеющими различные физические свойства, например разную температуру и влажность.

При нагревании участков земной поверхности, обладающих различной теплоемкостью, например песок, поле, луг, лес и т. п., над каждым из них могут возникнуть потоки различной скорости с различной степенью турбулентности.

В свободной атмосфере на границе между такими восходящими с различной скоростью воздушными массами также образуются турбулентные движения. Они развиваются в атмосфере до большой высоты и являются одной из главных причин постоянства состава атмосферы, способствуют передаче тепла от одного слоя воздуха к другому.

В условиях турбулентного перемешивания в атмосфере теплопроводность воздуха ( $K_T$ ) резко возрастает и может достигать больших значений:

$$K_T = 8-12 \text{ кал/см град} \cdot \text{сек},$$

т. е. возрастает более чем в 200 тыс. раз по сравнению с величиной теплопроводности неподвижного воздуха.

Важное значение имеет также *температуропроводность*, т. е. скорость передачи температуры. Она зависит от количества тепла, подаваемого в единицу времени на единицу объема, т. е., с одной стороны, зависит от *теплопроводности* и с другой — от *объемной теплоемкости*.

Так как теплопроводность сильно возрастает в условиях турбулентного перемешивания, то в этих же условиях возрастает температуропроводность. Следовательно, искусственное перемешивание воздуха может иметь большое значение во всех случаях, когда требуется быстро выровнять температуру в известном объеме или слое воздуха. Так, при борьбе с радиационными заморозками важным средством является перемешивание мощным вентилятором приземного слоя воздуха, имеющего низкую температуру, с более высоко расположенными и более теплыми слоями воздуха.

Из сказанного вытекает, что при рассмотрении теплопроводности и температуропроводности воздуха необходимо учитывать наличие турбулентного перемешивания и его интенсивность.

## 14. Вертикальное строение атмосферы

Атмосфера по своим термодинамическим свойствам и их распределению с высотой неоднородна. В ней различают несколько слоев.

Первый из них приземный слой воздуха, в котором растет и развивается основная масса различных организмов.

Термодинамические свойства этого слоя резко отличаются от свойств остальной атмосферы, особенно это относится к прилегающему к земной поверхности слою воздуха толщиной 2 м, свойства которого и будут описаны в дальнейшем. Главнейшая особенность этого приземного слоя заключается в том, что в нем основные метеорологические элементы на небольших расстояниях по вертикали изменяются на значительную величину. Например, в летний период с приближением к земле днем наблюдается резкое повышение температуры воздуха; при этом повышение температуры на единицу расстояния достигает очень больших величин, которых в других слоях атмосферы не наблюдается.

Чтобы эти изменения температуры с высотой для различных слоев атмосферы сделать между собой сравнимыми, пользуются следующим приемом: измеряют температуру воздуха на двух разных уровнях, отстоящих один от другого по вертикали на любую величину, например на 20 см; разность полученных величин показывает изменение температуры в слое толщиной 20 см.

Затем предполагают, что с такой же интенсивностью происходит изменение температуры в слое 100 м, и рассчитывают, на сколько градусов изменилась бы температура в 100-метровом слое. Полученная величина называется вертикальным температурным градиентом.

Подобным образом можно рассчитать вертикальные градиенты и других элементов.

Приземный слой воздуха характеризуется исключительно большими значениями вертикальных температурных градиентов. В свободной атмосфере вертикальный температурный градиент обычно равен  $0,5-0,6^\circ$ ; в приземном слое вертикальный температурный градиент иногда достигает нескольких сотен градусов.

В ночные часы в связи с охлаждением земной поверхности излучением температура воздуха вблизи земной поверхности может быть значительно ниже температуры ближайших более высоких слоев. В этом случае температура с высотой не убывает, как это часто наблюдается в дневные часы, а возрастает; такое распределение температуры воздуха с высотой называют инверсией.

Инверсии наблюдаются не только в приземном слое, но и на различных уровнях в свободной атмосфере. В слое инверсии вертикальный температурный градиент меняет знак на обратный,

становится отрицательным. В почные часы вертикальный температурный градиент в приземном слое воздуха может принимать большие отрицательные значения.

Как следствие из отмеченного выше значительного повышения температуры приземного слоя воздуха днем и понижения ночью вытекает, что приземный слой воздуха характеризуется *большими амплитудами температуры*.

В приземном слое в значительных пределах изменяется также *влажность* воздуха. В тех случаях, когда содержащийся в почве запас воды испаряется в условиях безветренной погоды, нижние слои воздуха оказываются в значительной мере обогащенными водяным паром.

В приземном слое воздуха сильно изменяется также *скорость ветра*, которая при приближении к земной поверхности вследствие трения воздуха о земную поверхность и особенно среди растений уменьшается и может доходить до нуля.

Изменяется также *состав атмосферы*, прежде всего потому, что из почвы выделяется углекислый газ, он в значительной степени обогащает приземный слой воздуха, особенно при безветрии, и создает существенно другие условия для роста и развития растений.

*Итак, приземный слой воздуха двухметровой толщины по физическим свойствам и химическому составу резко отличается от вышерасположенных слоев атмосферы.* Большие вертикальные градиенты метеорологических элементов, большие амплитуды их колебаний, другой состав воздуха, обогащенный углекислым газом, частые штили и малые скорости ветра создают в этом приземном слое другой климат, оказывающий большое влияние на развивающиеся в нем животные и растительные организмы. При наличии на полях различных культур, кустарниковой и древесной растительности взаимодействие их с окружающей средой еще более осложняет обстановку. Каждая культура в зависимости от густоты стояния, облиственности, физиологических свойств данных растений и многих других условий создает свой особый климат среди данной культуры.

*В средних широтах* — от земной поверхности до уровня 10—12 км располагается основная часть атмосферы, называемая тропосферой; приземный слой составляет часть ее. В целом тропосфера характеризуется развитием мощных процессов перемещения воздуха, горизонтальных и вертикальных движений, а также развитием турбулентных движений, непрерывным падением температуры с высотой.

В тропосфере содержится основная масса водяных паров, происходит их конденсация, образуются облака, осадки и другие гидрометеоры. В тропосфере происходит основной перенос воздушных масс, взаимодействие их, создание наблюдаемых условий погоды.

Над тропосферой находится небольшой, толщиной до 2 км, переходной слой, называемый т р о п о п а у з а, или с у б с т р а т о с ф е р а. Выше 10—12 км начинается слой, который носит название с т р а т о с ф е р а. В нижнем слое стратосферы, до высоты 30—35 км, наблюдается постоянство температуры. В этом слое наблюдается лучистое равновесие: приход тепла от солнца и земной поверхности равен расходу. Средний слой стратосферы (35—55 км) характеризуется повышением температуры — инверсией. Она возникла вследствие поглощения озоном ультрафиолетовой радиации солнца.

В верхнем слое стратосферы (55—80 км) температура быстро убывает; создаются условия, содействующие развитию конвекции и вертикального перемещения. Этот слой иногда называют мезосферой.

Выше 80 км и до высоты 800—1000 км расположен слой и о н о с ф е р ы, обладающий значительной ионизацией и вследствие этого огромной электропроводностью. Значение ионосферы состоит в том, что от нее отражаются короткие радиоволны. Поэтому оказывается возможным установить радиосвязь между пунктами земли, отстоящими по долготе на 180°.

Изложенное представляет собой только приближенную, общую схему.

На самом деле отдельные слои атмосферы не имеют столь четких границ и постоянных высот их расположения. Строения атмосферы значительно сложнее и изменчивее как во времени, так и по высоте и в пространстве.

## 15. Методы исследования атмосферы

В атмосфере непрерывно протекают различные физические процессы: изменяется температура, влажность, происходит конденсация водяных паров, возникают туманы, облака, выпадают осадки или происходит испарение облачных капель; солнечные лучи нагревают атмосферу, ионизируют ее, приводят в движение по горизонтали и вертикали и т. д. *Все эти многочисленные и сложные процессы не являются изолированными один от другого, наоборот, они тесно связаны между собой, взаимно влияют один на другой.* Кроме того, все процессы, протекающие в атмосфере, тесно связаны с физическими процессами, протекающими в поверхностном слое почвы.

Для измерения этих метеорологических элементов существуют разнообразные приборы. Их устанавливают в служебных помещениях и на открытых площадках метеорологических станций.

Наблюдения на одной станции дают характеристику физического состояния атмосферы только в одном пункте. Чтобы видеть

состояние атмосферы на большой площади, например на территории государства, необходимо организовать густую сеть станций, распределенных по всей изучаемой территории.

Такая сеть станций не простое увеличение числа пунктов наблюдений; она дает новые возможности, технически недоступные отдельным пунктам наблюдений. Результаты наблюдений сети станций, соответственно обработанные и нанесенные на географическую карту, дают возможность видеть физическое состояние атмосферы и распределение погоды на больших площадях.

Если такие карты погоды регулярно составлять через краткие промежутки времени и сравнивать между собой, то можно установить и изучить физические процессы, протекающие в атмосфере, их наличие, интенсивность, направленность. Легко установить, например, процессы зарождения, развития и разрушения циклона, развития облаков и осадков, образование антициклона и установление хорошей погоды и т. д.

Таким образом, сеть станций и регулярно составляемые по наблюдениям сети карты погоды являются важным методом исследования атмосферы и протекающих в ней физических процессов.

При изучении атмосферы необходимо проводить измерения не только в нижнем слое, прилегающем к земной поверхности, но и по всей толще атмосферы до больших высот; необходимо изучать весь объем атмосферы. Для этого применяют особые методы и приборы, позволяющие измерять значения метеорологических элементов в слоях атмосферы до большой высоты.

Для измерения распределения скорости и направления ветра в атмосферу выпускают так называемые шары пилоты, сделанные из тонкой высококачественной, легко растягивающейся резины и наполненные водородом. В зависимости от первоначального объема и подъемной силы шар поднимается вверх с определенной, почти постоянной скоростью. В то же время вследствие незначительности массы шар точно следует за движениями атмосферы. За подъемом такого шара наблюдают в теодолит и через определенные промежутки времени отмечают вертикальные и горизонтальные углы, под которыми он был виден. Результаты наблюдений дают возможность определить распределение скорости и направления ветра с высотой.

Для измерения температуры и влажности воздуха к резиновому шару на известном расстоянии прикрепляется прибор, записывающий температуру и влажность воздуха, а также давление, т. е. высоту, на которой находится прибор. Вся эта система носит название радиозонд; во время подъема прибор через известные промежутки времени передает по радио значения температуры, влажности и давления воздуха.

Для исследования атмосферы используют также звуковые лучи<sup>1</sup>.

В последние годы применяются ультракороткие звуковые волны, а также *ракеты и спутники*.

В результате этих исследований в настоящее время идет коренная перестройка представлений о распространении, составе и строении атмосферы, особенно ее верхних, наиболее удаленных от Земли слоев.

<sup>1</sup> В. П. Виткевич. Звуковой луч как метод исследования атмосферы. Научные исследования атмосферы. Изд. Моск. аэрологической обсерватории, вып. 2. М., 1925.

## СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

## 1. Солнечная радиация — основной источник энергии

Основной источник энергии на Земле — солнце.

Солнечная энергия — источник всех физических и химических процессов и явлений, протекающих в живой и мертвой природе.

Солнечные лучи, проходя через атмосферу, вызывают ряд явлений: голубой цвет небесного свода, рассеянный свет, сумерки и ряд оптических явлений — радуго, гало, венцы и др.

Солнечная радиация нагревает земную поверхность.

В результате неодинакового нагревания различных участков земной поверхности и прилегающего к ним воздуха возникает движение воздушных масс — ветер, создается общая циркуляция атмосферы. Под влиянием солнечной радиации происходит постоянное испарение больших количеств воды. Водяной пар разносится по всему земному шару и образует облака, осадки и реки, которые, так же как и ветер, являются вторичным источником энергии. Под влиянием общей циркуляции атмосферы возникают мощные течения в днах в океанах и морях; они переносят большие количества тепла на север.

Солнечная радиация — один из основных факторов климатообразования. Вследствие того, что на различных широтах земная поверхность получает от солнца разное количество энергии, формируются различные климаты и ландшафты от покрытой вечными снегами и льдами Арктики до знойных пустынь Африки, Америки и Азии.

Большие запасы солнечной энергии, накопленные в прежние геологические эпохи, дошли до нас в виде каменного угля и нефти. Растения в процессе фотосинтеза усвоили около 3% падающей на них солнечной энергии и сохранили ее.

Кроме солнца, имеются и другие источники энергии — излучения луны, планет, звезд, внутренняя теплота земного шара. Однако общая сумма достигаемой ими энергии по сравнению с солнечной ничтожна.

В последнее время делаются попытки использовать энергию приливно-отливных вод, создаваемых силой всемирного тяготения. Первые три приливные электростанции намечается построить в Мезенском заливе Белого моря, где высота прилива достигает 8—9 м.

Наука открыла еще один мощный источник энергии — энергию атома. В Советском Союзе атомная энергия широко используется для мирных целей: построена первая в мире атомная электростанция и построен первый атомный ледокол «Ленин».

## **2. Влияние солнечной радиации на рост и развитие растений и животных. Дополнительное облучение**

Солнечная радиация оказывает большое влияние на все основные физиологические процессы растений и животных.

Под влиянием солнечных лучей происходит образование в растениях хлорофилла.

Процесс питания растений — усвоение углерода из углекислого газа атмосферы — так называемый фотосинтез, или ассимиляция, происходит за счет энергии, получаемой растением от солнца; поглощают ее хлорофилловые зерна.

В результате образуются новые сложные органические соединения. Они служат источником питания и энергии для всех организмов земного шара.

За счет солнечной энергии совершается испарение с поверхности растений большого количества воды, в сотни раз превышающего вес сухого вещества растения.

Под влиянием солнечной энергии в растениях хорошо дифференцируются ткани. При недостатке освещенности дифференциация тканей слабая; это приводит, например, к тому, что в годы с большим количеством облачных дней соломина хлебов не имеет достаточной упругости и полеглие под действием ветра растения не в состоянии подняться. Полегание хлебов в значительной мере затрудняет уборку и приводит к потерям урожая.

Свет и особенно короткие ультрафиолетовые и сине-фиолетовые лучи задерживают рост растения. Вследствие задерживающего действия света на рост ночью растения растут быстрее, чем днем. В горах, где интенсивность ультрафиолетовых лучей большая, растения для защиты от них имеют различные приспособления, например волоски, которые защищают лист не только от сильной радиации, но и от чрезмерного испарения воды.

В темноте растения вытягиваются, образуют большие междоузлия, быстро растут, не вырабатывают хлорофилл, имеют белый или слабо-желтоватый цвет (этиолированные растения). Таковы, например, ростки картофеля, прорастающего в подвале.

Вследствие недостатка освещенности под кронами густостоящих буковых деревьев нет подлеска. Молодые ростки бука, поднимающиеся из земли, живут 2—3 года в тени старых деревьев без достаточного солнечного света, затем погибают.

Хорошая освещенность — важное условие нормального развития растений.



Растение представляет собой организм, привязанный к месту обитания; оно не может укрыться от неблагоприятных условий. Поэтому растение приспосабливается к неблагоприятным условиям внешней среды. У него развивается большая зеленая ассимилирующая поверхность, чтобы получить достаточное питание, несмотря на ничтожное содержание в атмосфере углекислого газа; развивается корневая система с большим количеством крупных и мелких разветвлений для усвоения возможно большего количества элементов питания; корневая система за влагой проникает в глубокие нижние горизонты почвы.

В зависимости от условий освещения развитие растения идет по-разному. Сосна, стоящая одиноко в поле, широко раскидывает свои ветви. Ствол дерева имеет большой диаметр, уменьшающийся к вершине. Крона приобретает форму шатра.

Сосна в сообществе «стремится» выйти из зоны затенения, создаваемого соседними деревьями, слабо развивает боковые сучья и быстро растет вверх, «стремится» выдвинуть крону выше окружающих деревьев, получить возможно большее количество солнечной энергии. В результате дерево становится высоким, ровным, с кроной и сучьями, расположенными только в верхней части.

В стремлении получить как можно больше света растение «совершает движения» и «выбирает» соответствующее направление роста.

Способность растения вращаться или наклоняться в ту или другую сторону в зависимости от направления лучей света называется *фототропизм*. Если растение поворачивается в направлении к свету, фототропизм называется *положительным*; если же растение или часть его, например корень, движется в сторону, противоположную раздражителю — свету, фототропизм называется *отрицательным*. Ростки картофеля в подвале тянутся в направлении той щели, откуда проникает хотя бы ничтожное количество света. Наибольшее влияние при этом оказывают индиго-синие лучи с длиной волны  $0,465 \mu$ ; в обе стороны от этой волны влияние световых волн ослабевает. Соцветия подсолнечника в течение дня поворачиваются за солнцем, листья хлопка располагаются перпендикулярно направлению солнечного луча, и на каждую единицу листовой поверхности попадает максимально возможное количество солнечной энергии. В зависимости от силы внешнего раздражения фототропизм из положительного может перейти в отрицательный.

Листья растений, приспособившихся для роста в засушливых районах, располагаются ребром к зениту и меньше испаряют влаги. Таким свойством обладают, например, австралийские акации и эвкалипты, не дающие обычной тени. Некоторые мотыльковые, крестичные и другие растения в полуденные часы приподнимают листочки своих сложных листьев так, что они обращаются кверху уже не плоскостью, а ребром. Существуют растения, листья кото-

рых располагаются не только ребром к зениту, но и в плоскости меридиана; при таком положении в полуденные часы, когда интенсивность солнечной энергии достигает максимума, растение на каждую единицу поверхности получает малое количество солнечной энергии.

Солнечная энергия оказывает большое влияние на химический состав растений и его плодов. Например, сахаристость свеклы зависит от числа солнечных дней в течение вегетационного периода: чем больше солнечных дней, тем больше содержится в свекле сахара. Так же резко реагирует на количество солнечных дней виноград. Сахаристость и другие качества винограда, а также качество виноградных вин тем выше, чем больше солнечной энергии получили виноградные растения в течение вегетационного периода.

Картофель, выращиваемый на биологической станции в Мургабе (Памир, высота 3800 м над уровнем моря), выдерживает заморозки до  $7-8^{\circ}$ , тогда как в равнинных условиях гибнет уже при  $-2^{\circ}$ . Это объясняется увеличением количества сахаров, вырабатываемых растением под влиянием увеличения интенсивности солнечной радиации на больших высотах.

Иногда воздействие солнечного луча может привести отчасти к отрицательным результатам. Так, клубень картофеля на свету после некоторого времени становится зеленым, обогащается алкалоидом соланином и становится непригодным для пищи, однако при этом сохраняет и даже улучшает свои семенные качества. Облучение клубней при хранении посадочного материала делает их устойчивыми против заболеваний. Поэтому считается, что облучение клубней прямым или рассеянным солнечным светом является важным приемом улучшения посевного материала.

Растение реагирует также на продолжительность дня.

Эта реакция носит название фотопериодизма.

Если переместить растение к северу, где продолжительность дня в летние месяцы может достигать 24 часов, то оно может попасть в условия длинного дня.

К югу длина дня уменьшается; в летнее время на юге промежуток времени от восхода солнца до захода, а также продолжительность утренних и вечерних сумерек короче, чем на севере. Поэтому, перемещая растение к югу, можно поставить его в условия короткого дня.

Растения южных стран принадлежат к растениям короткого дня; к ним относятся, например, просо, фасоль, соя, сорго, рис, подсолнечник, кукуруза, табак, хлопчатник, огурцы, томаты и др. Если эти растения перемещать к северу в условия более длинного дня, они зацветают с опозданием или совсем не зацветают, развивают большую зеленую массу. Поэтому подсолнечник и кукурузу на севере иногда выращивают для получения силосной массы.

Просо на широте 60° не вызревает, однако при уменьшении длины дня до 12 часов растение проходит полный цикл развития и созревает.

К растениям длинного дня относятся овес, ячмень, пшеница, капуста, морковь, лук репчатый, чеснок, шпинат, редис и др.

Развитие растений длинного дня при перемещении их к северу ускоряется, они скорее созревают и плодоносят. Поэтому, например, пшеницу можно продвигать на север, так как она быстрее заканчивает полный цикл развития.

Перемещая одну и ту же культуру к северу или к югу, можно в значительных пределах изменить качество ее продукции. Например, у льна и конопли в условиях короткого дня увеличивается содержание масла, в условиях же длинного дня усиливаются прядильные свойства.

И. В. Мичурин придавал фотопериодизму большое значение как средству воздействия на длину вегетационного периода растения и воспитания его в желаемом направлении; он писал: «...если мы применим фотопериодизм в самой ранней стадии развития гибридных семян, хотя бы в течение трех лет, укоротим их вегетационный период и тем уже сделаем их более выносливыми к морозу, то это свойство в них закрепится навсегда».

Количество солнечной энергии, получаемое в полевых условиях растениями, в известных пределах можно увеличивать или уменьшать, изменяя направление посадки или сева. Оказывается, что при этом в больших пределах изменяется количество и качество урожая (гл. 3).

При выращивании растений на небольших площадях закрытого грунта, в теплицах и парниках продолжительность освещения их можно регулировать, применяя специальные электрические лампы или создавая затенение.

Дополнительное освещение может ускорить созревание растений длинного дня. Укорачивая продолжительность дня затенением, можно вызвать замедление созревания и усиление развития зеленой массы.

Следует отметить также широкое применение в сельском хозяйстве инфракрасных лучей. В оранжереях и теплицах под воздействием этих лучей выращивают различные требовательные к теплу растения.

Хорошие результаты получены при применении инфракрасных лучей для сушки фруктов; при этом повышается качество пищевых продуктов и удлиняются сроки хранения.

При сушке инфракрасными лучами процесс высыхания идет изнутри наружу, в то время как при любых других обогревателях процесс сушки идет в обратном направлении. Время сушки сокращается не менее чем в два раза.

Инфракрасные лучи применяют также для борьбы с вредителями зерна.

С большим успехом инфракрасные лучи применяют в животноводстве для облучения животных (особенно благоприятно в зимние месяцы), а также, в частности, для сушки и обогрева свиноматок.

В совхозе «Федоровское» Тосненского района Ленинградской области применяется лагерное содержание свиней, которое обеспечивает им большие количества солнечной радиации. Кроме того, молодняк облучается инфракрасными лучами.

Опыты, проведенные А. М. Вильнером и А. Е. Переверзевым, показали, что облучаемые поросята обладали большей подвижностью и более интенсивным развитием и ростом.

Особенно сильное влияние облучение оказывает на поросят до двухнедельного возраста. Поэтому его рекомендуют для широкого внедрения в свиноводческих хозяйствах.

Животных облучали также ультрафиолетовыми лучами. В совхозе «Крекшино» Московской области М. И. Полканов и И. С. Гусев в течение зимы ежедневно облучали коров ультрафиолетовыми лучами. Для этого они пользовались ртутно-кварцевой лампой<sup>1</sup>. В результате облучения суточные удои увеличились; превышение достигло 2,11 кг.

Из приведенных примеров видно, что солнечная радиация оказывает глубокое влияние на все физиологические процессы растения и животного.

### 3. Состав солнечной радиации. Три основные части спектра

Солнечная радиация состоит из различных по длине электромагнитных волн. Длины волн измеряются или в микронах<sup>2</sup>, обозначаемых знаком  $\mu$ , или в единицах, в 1000 раз более мелких, — миллимикронах, обозначаемых знаком  $m\mu$ , или, наконец, в единицах, еще в 10 раз более мелких, — ангстремах, обозначаемых знаком  $\text{Å}$ . Поэтому, например, длина световой волны 0,29  $\mu$  может быть обозначена также 290  $m\mu$  или 2900  $\text{Å}$ . На рисунке 8 дана схема расположения электромагнитных волн, из которых состоит солнечная радиация. До земной поверхности доходят две группы волн. На рисунке они заштрихованы. Первая группа, которая обычно называется **солнечным спектром**, включает в себя волны длиной от 0,29 до 4,0  $\mu$ . Вторая группа волн, достигающих земной поверхности, длиной от 1,25 см до 16—30 м называется **радиоволнами**.

Солнечный спектр делится на три участка: первый — ультрафиолетовые лучи — включает волны длиной от 0,29 до 0,39  $\mu$ . Эти лучи невидимые; они оказывают большое влияние на биохимические процессы в организме.

<sup>1</sup> Типа ПРР-7.

<sup>2</sup> Микрон равен одной тысячной доли миллиметра.

поглощения отдельных участков солнечного спектра. Коротковолновой части солнечного спектра резко вредно вследствие поглощения коротких волн кислородом и особенно озоном.

Вторая группа волн, достигающих земной поверхности, длиной от 1,25 см до 10—30 м обнаруживается только различными радиоприемными устройствами. Они несут малые количества энергии, и влияние их на организм не изучено.

Поэтому в дальнейшем изложении рассматривается только солнечный спектр с длинами волн до 4,0 м.

Поток энергии, доставляемой солнечными лучами, очень велик. На границе атмосферы на каждый квадратный сантиметр освещенной и перпендикулярной солнечным лучам поверхности в одну минуту поступает около двух малых калорий, а на весь земной шар — около 180 миллиардов киловатт<sup>1</sup>.

#### 4. Физиологическая радиация

В жизни растения особое значение имеют те лучи и отдельные участки солнечного спектра, которые используются им для развития и роста.

К. А. Тимирязев доказал, что для одного из основных физиологических процессов — ассимиляции, или фотосинтеза, — растение использует красные лучи между фраунгоферовыми линиями В и С, а также синие фиолетовые лучи, расположенные в сторону коротких волн от линии F. Эти части спектра называются *ф и з и о л о г и ч е с к о й р а д и а ц и е й*. Фотосинтез не наблюдается в зеленой части спектра, а также в красной части между линиями А и В; в оранжевых и желтых лучах фотосинтез протекает слабо.

На рисунке 10 сверху показана обычная видимая часть нормального солнечного спектра; внизу дан спектр солнечной радиации, прошедшей через яркий зеленый раствор хлорофилла. Из рисунка видно, что крайние красные лучи (от линии А до линии В) прошли через хлорофилл без поглощения. Наиболее же яркие красные лучи, а также оранжевые и часть желтых покрыты черной полосой, особенно густой в области красных лучей между фраунгоферовыми линиями В и С. Синие и фиолетовые лучи также поглощены и на рисунке покрыты черной полосой. Степень поглощения в отдельных частях спектра зависит от концентрации хлорофилла и толщины поглощающего слоя.

Приведенный нормальный спектр солнечного луча, а также спектр луча, прошедшего через раствор хлорофилла, наглядно иллюстрируют, какие лучи поглощает хлорофилл и использует

<sup>1</sup> Б. П. Вейнберг. Желтый уголь. Изд. АН СССР. Комиссия по изучению естеств. производ. сил Советского Союза. М., 1929.

для разложения углекислого газа, образования углеводов и выделения кислорода в свободную атмосферу.

Фотосинтез имеет принципиально важное значение, так как при этом неорганические вещества переходят в органическую форму; это переходный процесс между мертвой и живой природой. Зерно хлорофилла, помещенное в красную или синюю часть спектра, становится черным, следовательно, зерно хлорофилла поглощает эти лучи.

То же зерно, помещенное в зеленую часть спектра, сохраняет

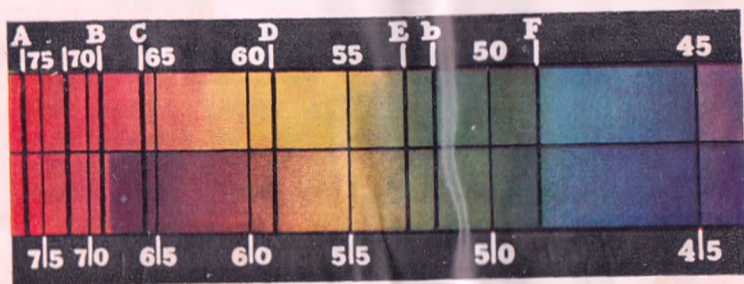


Рис. 10. Поглощение хлорофиллом радиации в различных участках солнечного спектра.

для измерения фотосинтетической радиации Г. А. Иванов построил фитоактинометр. Он состоит из двух термометров; резервуар одного из них наполнен толуолом, резервуар второго термометра наполнен толуолом, окрашенным хлорофиллом. Разность показаний обоих термометров характеризует количество солнечной радиации, поглощенной хлорофиллом.

<sup>1</sup> К. А. Тимирязев. Космическая роль растений. Избр. соч. в четырех томах. 1948, т. 1, стр. 366.

## 5. Закон ослабления прямой солнечной радиации при прохождении ее через атмосферу

Интенсивность, или напряжение, солнечной радиации обычно характеризуется тем количеством калорий, которое солнечные лучи доставляют в единицу времени на единицу поверхности, перпендикулярной к направлению солнечных лучей. Эта величина обозначается буквой  $I$ . Единицами измерения служат: малая калория, квадратный сантиметр, минута.

Например, запись  $I = 1,15 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$  означает, что в данное время солнечная радиация в одну минуту на каждый квадратный сантиметр поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, доставляет 1,15 малой калории.

Прежде чем достигнуть земной поверхности, поток солнечной радиации проходит через атмосферу и взаимодействует с нею; в результате и радиация и атмосфера подвергаются некоторым изменениям.

На этом пути солнечная радиация: 1) частично поглощается атмосферой и преобразуется главным образом в тепловую энергию, вызывает образование озона и ионизацию верхних слоев атмосферы; 2) частично рассеивается молекулами газов и взвешенными в атмосфере мельчайшими частицами различного состава и размера и 3) отражается от облаков. В результате этих физических процессов прямая солнечная радиация доходит до земли ослабленной. Ослабление солнечной радиации для различных участков спектра неодинаково. Некоторые участки спектра в процентном отношении оказываются больше ослабленными, чем соседние; поэтому, пройдя через атмосферу, солнечная радиация изменяет не только свою общую интенсивность, но и состав.

Рассмотрим более подробно закон ослабления солнечной радиации в атмосфере.

Допустим, что дуга окружности АВ (рис. 11) представляет собой поверхность земли; МН изображает границу, с которой атмосфера начинает заметно влиять на интенсивность и состав солнечного луча.

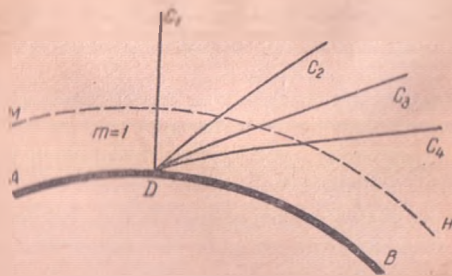


Рис. 11. Ход солнечного луча в атмосфере.

Если солнце находится в зените места наблюдения в направлении точки  $C_1$ , то угол высоты его над горизонтом ( $\alpha$ ) равен  $90^\circ$ . При этих условиях лучи солнца движутся по перпендикуляру к земной поверхности и к границам раздела между слоями различной плотности воздуха; солнечные лучи идут

по прямой линии и проходят через наименьшую возможную массу воздуха, которую условно принимают равной единице. Обозначив массу атмосферы, проходимую солнечными лучами,  $m$ , можно сказать, что если солнце находится в зените места наблюдения, то  $m = 1$ .

Допустим, что интенсивность солнечной радиации на внешней границе атмосферы равна  $I_0$ ; у земной поверхности интенсивность солнечной радиации после прохождения массы атмосферы, равной единице, пусть будет равна  $I_1$ .

Вследствие процессов поглощения, рассеивания и отражения солнечного луча атмосферой  $I_1$  будет меньше  $I_0$ . Чтобы написать между ними знак равенства, необходимо  $I_0$  умножить на некоторый дробный коэффициент  $p$ :

$$I_1 = I_0 p. \quad (1)$$

В этом уравнении  $p$  — коэффициент прозрачности атмосферы; он указывает, какая часть энергии солнечного луча прошла через единицу массы атмосферы и достигла земной поверхности; чем больше значение  $p$ , тем большая доля радиации доходит до земной поверхности.

$I_0$  — интенсивность солнечной радиации, падающей на верхнюю границу атмосферы на  $1 \text{ см}^2$  поверхности, перпендикулярной солнечным лучам; ее называют с о л н е ч н о й п о с т о я н н о й.

Если солнце опускается к горизонту, то солнечные лучи, переходя из слоя воздуха меньшей плотности в слой воздуха большей плотности, подходят к разделяющей их границе под некоторым острым углом и потому преломляются, приближаясь к перпендикуляру. В результате преломления путь лучей в атмосфере будет представлять собой кривую; масса атмосферы, проходимая солнечными лучами, увеличивается. Лаплас в результате теоретических исследований вывел формулу, по которой можно рассчитать число масс атмосферы, через которое проходят солнечные лучи при различных углах высоты солнца над горизонтом. Приведем конечный результат этих исследований Лапласа с поправками, внесенными позднее другими авторами (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Число масс атмосферы, через которые проходит солнечный луч при различных высотах солнца над горизонтом

Высота солнца над горизонтом ( $\alpha$ )	90°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	5°	3°	1°	0°
Число масс атмосферы, проходимых солнечным лучом ( $m$ )	1,00	1,15	1,31	1,55	2,0	2,9	5,6	10,4	15,4	27,0	35,4



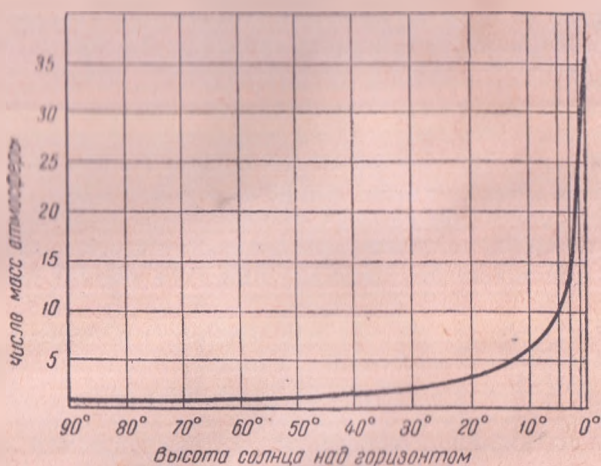


Рис. 12. Число масс атмосферы, через которые проходит солнечный луч при различных высотах солнца.

При уменьшении высоты солнца масса атмосферы, через которую проходят солнечные лучи, увеличивается сначала медленно, и затем все быстрее. Особенно большое нарастание массы происходит тогда, когда угол высоты солнца становится меньше  $20^\circ$ . Если высота солнца  $\alpha$  равна  $30^\circ$ , то  $m$  равно 2.

Когда солнце находится у горизонта, т. е. когда  $\alpha = 0$ , значение  $m$  достигает 35,4, т. е. масса атмосферы, через которую проходят солнечные лучи, увеличивается в 35 раз.

Не следует думать, что при этом путь луча в атмосфере удлиняется в 35 раз. Путь удлинился мало, но это удлинение произошло главным образом в нижних, более плотных слоях атмосферы. Отсюда произошло значительное увеличение массы, проходимой солнечным лучом.

По приведенной таблице можно вычертить кривую (рис. 12), по которой для любой заданной высоты солнца  $\alpha$  можно без каких-либо вычислений найти соответствующее значение  $m$ .

Допустим, что высота солнца равна  $30^\circ$ ; при этом, как показывает таблица, луч должен пройти две массы. После прохождения первой из них интенсивность луча, согласно формуле (1), равна:

$$I_1 = I_0 p.$$

После прохождения второй массы интенсивность равна:

$$I_2 = I_1 p, \text{ т. е. } I_2 = I_0 p^2.$$

Рассуждая подобным образом, легко убедиться, что закон ослабления прямой солнечной энергии в атмосфере в общем виде можно выразить формулой:

$$I_m = I_0 r^m. \quad (2)$$

Здесь  $I_m$  — интенсивность солнечного луча после прохождения  $m$  масс атмосферы;

$I_0$  — солнечная постоянная;

$r$  — коэффициент прозрачности.

При любом измерении интенсивности солнечной радиации легко определить высоту солнца  $\alpha$ , а затем по таблице определить  $m$ ;  $I_m$  — измеренная в данный момент интенсивность солнечной радиации. В уравнении (2) остаются два неизвестных:  $I_0$  — интенсивность солнечной энергии на границе атмосферы и  $r$  — коэффициент прозрачности.

Если сделать два определения  $I_m$  и  $m$  при двух любых высотах солнца, т. е. при двух различных значениях  $\alpha$ , и подставить значение  $I_m$  и  $m$  в уравнение (2), то получим два уравнения с двумя неизвестными  $I_0$  и  $r$ ; решая эти уравнения, можно определить значения  $I_0$  — солнечной постоянной и коэффициента прозрачности  $r$ .

В результате измерений интенсивности прямой солнечной радиации, высоты солнца и соответствующих расчетов получены следующие значения: солнечная постоянная  $I_0$  равна около 2 кал. в минуту на 1 кв. см поверхности, перпендикулярной направлению солнечных лучей. Коэффициент прозрачности  $r$  равен 0,75. Оба числа относятся не к отдельным монохроматическим лучам, составляющим поток радиации, а ко всему потоку в целом. Коэффициент прозрачности 0,75 показывает, что если солнечные лучи проходят через единицу массы атмосферы, то до земной поверхности доходит 75% того суммарного количества энергии, которое солнечные лучи приносят на границу атмосферы.

Строго говоря, все приведенные рассуждения правильны только в том случае, если рассматривать не солнечный пучок лучей различных длин волн в целом, а какой-либо отдельный участок спектра, монохроматический луч, например красные или синие лучи в отдельности.

В этом случае  $I_m$  выражает интенсивность выбранного участка спектра, соответствующего определенной длине волны.

Для определения  $I_m$  можно пользоваться обычными приборами, однако на приемник прибора должны воздействовать лучи только выбранного участка спектра. Для этого на пути солнечных лучей, падающих на приемник, следует поставить соответствующий светофильтр, который пропустит только лучи выбранного участка спектра. В этом случае  $I_0$  будет обозначать не солнечную постоянную, а интенсивность радиации на границе атмосферы выбранного участка спектра;  $r$  — коэффициент

прозрачности атмосферы также только для волн выбранного участка спектра.

Если проделать такие измерения со светофильтрами по основным участкам солнечного спектра, то окажется, что для волн различной длины значения  $p$  различны, т. е. разные участки спектра, проходя через атмосферу, ослабляются по-разному (табл. 5).

Таблица 5

Значение коэффициента прозрачности  
для световых волн различной длины

Длина волны (в $\mu$ )	Коэффициент прозрачности $p$ у поверхности земли
0,30	0,36
0,37	0,68
0,42	0,77
0,49	0,85
0,59	0,92
0,70	0,97
0,91—4,0	0,98

Из таблицы видно, что при достижении земной поверхности волны длиной, например, 0,42  $\mu$  испытывают ослабление на 23%, так как для этих волн  $p = 0,77$ . В то же время волны длиной свыше 0,91  $\mu$  дошли до земной поверхности с потерей только 2% энергии.

С поднятием над уровнем моря прозрачность атмосферы сильно возрастает, так как уменьшается масса атмосферы, через которую проходят солнечные лучи. С высотой содержание в солнечной радиации коротких волн возрастает. Это обстоятельство оказывает большое влияние на растения горных стран; они имеют различные приспособления для защиты от губительного действия коротких волн и других суровых условий внешней среды.

## 6. Распределение энергии по спектру. Спектральный состав прямой солнечной радиации при различных высотах солнца

Распределение энергии по солнечному спектру можно изучить, пользуясь электрическим термометром большой чувствительности. Он представляет собой мостик для измерения сопротивлений, в одну из ветвей которого введена тонкая зачерненная металлическая проволочка или пластинка. Если такую проволочку перемещать вдоль солнечного спектра и последовательно подвергать ее действию волн различной длины, то в различных участках спектра она будет нагреваться по-разному и при этом будет изменяться ее сопротивление; стрелка включенного в цепь гальвано-

метра будет отклоняться на разные углы. График, составленный по отклонениям стрелки гальванометра, покажет характер распределения лучистой энергии по всему солнечному спектру.

Именно таким путем получена кривая распределения солнечной энергии по спектру, начерченная на рисунке 9 сплошной линией.

Кривая показывает, что наибольшее количество энергии несут с собой лучи видимой части спектра. Она не плавная; на ней имеется ряд глубоких прогибов, соответствующих усиленному поглощению и ослаблению.

Над кривой написаны названия поглотителей.

Если бы солнечные лучи не проходили через атмосферу и не испытывали ослабления, то кривая распределения энергии в видимой и инфракрасной частях спектра имела бы вид, показанный на рисунке пунктиром.

Избирательное поглощение различных участков солнечного спектра приводит к тому, что в разные часы дня при разных высотах солнца состав солнечной радиации, дошедшей до земной поверхности, неодинаков.

Это можно видеть из таблицы 6, составленной проф. М. М. Самбикимым.

Т а б л и ц а 6

Спектральный состав солнечной радиации при различных высотах солнца над горизонтом  
(в % от общей радиации у поверхности земли)

Длина волны (в $\mu$ )	Высота солнца над горизонтом			
	90°	30°	5°	
Ультрафиолетовая часть спектра	0,30	4	3	0,5
	0,37	3	2	0
	0,42	6	5	1
Видимая часть спектра создает освещенность	0,49	11	11	4
	0,50	14	14	10
	0,70	13	13	15,5
	0,91	19	21	26
Инфракрасная часть спектра	1,33	18	19	25
	2,30	10	10	15
	4,00	2	2	3
С у м м а				
Интенсивность общей радиации (в кал/см <sup>2</sup> · мин)	100% <sub>0</sub>	100% <sub>0</sub>	100% <sub>0</sub>	100% <sub>0</sub>
	1,70	1,56	1,06	

Из таблицы видно, что наибольшим изменениям подвергается коротковолновая часть спектра. Эти изменения происходят главным образом при малых высотах солнца.

Интенсивность и состав солнечного луча зависят от высоты солнца над горизонтом, следовательно, они зависят не только от часа дня, но и от времени года, географической широты, высоты места наблюдения над уровнем моря. Количество коротких волн в суточном ходе наибольших значений достигает в полуденные часы.

Приведенные данные имеют большое значение для сельского хозяйства; как было указано выше, многочисленные исследования показали, что растение нуждается не только в достаточном количестве солнечной радиации, но и в известном качестве ее.

Особое значение это имеет, например, при оранжерейных культурах, когда из-за недостаточного естественного освещения приходится прибегать к электрическому свету. В этом случае необходимо добавлять те лучи, которые в естественной радиации ослаблены или отсутствуют. Лампы накаливания, обычно применяемые для дополнительного освещения растений в оранжереях и теплицах, дают большое количество желто-красных и особенно инфракрасных лучей и совершенно недостаточное количество синефиолетовых; кроме того, свыше 90% потребляемой энергии преобразуется в тепло.

Подсолнечник, капуста, салат, шпинат, редис и другие культуры чрезвычайно чувствительны к недостатку синефиолетовых лучей и без них очень сильно вытягиваются. Поэтому при дополнительном освещении необходимо пользоваться ртутными лампами с кварцевой оболочкой или люминесцентными трубками, заполненными парами ртути, излучение которых содержит синефиолетовые и ультрафиолетовые лучи. Особое значение имеют лампы дневного света «ДРЛ» (дуговые, ртутные, люминесцентные), излучение которых по спектральному составу подобно спектру дневного рассеянного света, а также ксеноновые лампы, световой поток которых примерно в 100 раз сильнее, чем люминесцентных трубок.

На практике пользуются трубками марок «ЛД» или «ЛБ» мощностью от 30 до 80 вт.

Такие лампы дают света в 3—4 раза больше, чем лампы накаливания; они более экономичны.

Лампы «ДРЛ» имеют мощность от 250 до 1000 вт; следовательно, можно уменьшить количество ламп на единицу облучаемой площади.

Ксеноновые лампы дают вредное для растений сильное ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Чтобы защитить растения от этих лучей, приходится помещать лампу в стеклянную трубку для ослабления ультрафиолетовых лучей и задерживать излишнее тепло вентиляцией или слоем воды. Это создает дополнительные трудности при пользовании ксеноновыми лампами.

Одна ксеноновая лампа в 6 квт может заменить 250 люминесцентных трубок.

Опыты, проведенные в лаборатории искусственного климата Тимирязевской академии проф. П. С. Беликовым и В. М. Леманом, показали, что ксеноновые лампы дают возможность без естественного света выращивать томаты, фасоль и другие культуры.

Н. А. Максимов и Н. А. Артемьев впервые в Советском Союзе поставили опыты выращивания растений при искусственном освещении с использованием электрических ламп.

Искусственное освещение применяется в сельскохозяйственном производстве для выращивания ранних овощей в закрытом грунте, в теплицах и парниках зимой, осенью и ранней весной.

Особое значение метод искусственного освещения при досвечивания имеет на Крайнем Севере.

Например, в Воркуте, расположенной за 67-й параллелью, тепличное хозяйство комбината «Воркутуголь», применяя мощные электрические лампы, уже в начале февраля отправляет в магазины и столовые зеленый лук. Там же выращивают ранние огурцы и помидоры.

В различных местах СССР имеются большие хозяйства, в которых круглогодично в условиях закрытого грунта и искусственного освещения выращивают рассаду, овощи и декоративные растения.

## 7. Влияние угла наклона солнечных лучей к облучаемой поверхности на количество получаемой ею солнечной энергии

Количество солнечной энергии, падающей на единицу облучаемой поверхности, зависит не только от интенсивности солнечной радиации, но и от угла, под которым лучи падают на эту поверхность.

Наибольшее количество солнечной энергии приходится на каждую единицу поверхности в том случае, если направление лучей перпендикулярно поверхности, т. е. лучи падают на нее под углом  $90^\circ$ . Если же лучи падают на поверхность под каким-то острым углом  $\alpha$ , то на каждую единицу поверхности приходится меньшее количество солнечной энергии.

На рисунке 13 показано сечение через облучаемые поверхности АС и АВ. Рассмотрим, как изменяется количество солнечной энергии, падающей на единицу по-

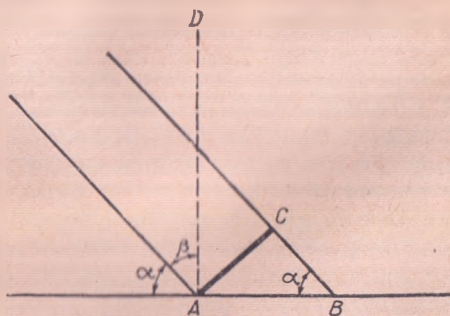


Рис. 13. Количество солнечной радиации, падающей на единицу поверхности в зависимости от угла наклона.

поверхности, в зависимости от ее наклона или от угла между направлением солнечного луча и перпендикуляром, восстановленным к заданной поверхности.

Пусть солнечный луч падает под прямым углом на поверхность AC, которую примем равной единице, и доставляет ей количество солнечной энергии  $S_{90}$ . Если допустить, что лучи доходят до горизонтальной поверхности AB, то теперь тот же запас солнечной энергии, т. е. то же количество калорий, распределится на большей площади AB, величина которой определяется по формуле:

$$AB = \frac{AC}{\sin \alpha}.$$

Количество солнечной энергии, падающее на единицу поверхности AB, обозначим  $S$ . Чем больше площадь, на которую падает заданное количество солнечной энергии, тем меньшее количество ее приходится на единицу поверхности. Поэтому

$$S : S_{90} = AC : \frac{AC}{\sin \alpha}.$$

Отсюда

$$S = S_{90} \cdot \sin \alpha.$$

Формула показывает, что если  $\alpha = 0$ , т. е. если солнечный луч идет *параллельно* поверхности, то количество получаемой ею солнечной энергии  $S = 0$ .

Если  $\alpha = 90^\circ$ , т. е. лучи падают на поверхность перпендикулярно, то  $S = S_{90}$ ; каждая единица поверхности получает максимально возможное количество солнечной энергии.

Для угла, промежуточного между  $0^\circ$  и  $90^\circ$ , величину  $S$  можно получить, если  $S_0$  помножить на натуральное значение синуса, которое будет равно некоторой правильной дроби. Можно воспользоваться не углом  $\alpha$ , а углом между направлением луча и перпендикуляром к поверхности, т. е. дополнительным углом  $\beta$ . В этом случае формула примет вид:

$$S = S_{90} \cdot \cos \beta.$$

*Количество солнечной энергии, падающее на единицу перпендикулярной солнечным лучам поверхности, принято называть радиацией, а количество солнечной энергии, падающей на единицу горизонтальной поверхности, принято называть инсоляцией.*

Общий приход на деятельную поверхность прямой и рассеянной (стр. 55) радиации называется «суммарной» радиацией.

Знание закона распределения солнечной энергии очень важно в практической деятельности агронома.

Различно наклоненные и ориентированные поля имеют различный солнечный режим; они освещаются в разные часы и получают разные количества солнечной энергии.

Даже в пределах одного хозяйства поля различного наклона и ориентировки имеют разный солнечный режим, а следовательно, и разный климат почвы и приземного слоя воздуха. Рельеф местности в сельскохозяйственном производстве имеет большое значение и должен приниматься в расчет при распределении культур по полям, при обработке почвы, при выборе направления посева и посадок и пр.

Особое значение имеет это и в условиях горной местности. Различные склоны одной и той же горы в зависимости от ориентировки имеют разный солнечный режим и, следовательно, разный режим всех метеорологических элементов. Освоение горных склонов невозможно без учета этих климатических особенностей.

## 8. Рассеяние солнечной радиации в атмосфере

До земной поверхности доходят не только прямые солнечные лучи, но и рассеянные, идущие от молекул воздуха, облаков, пылинок и других рассеивающих частиц. Каждая молекула рассеивает очень малое количество света, но число молекул огромно. Поэтому весь небесный свод светится; цвет небесного свода голубой. Отсюда можно сделать вывод, что молекула воздуха неодинаково рассеивает световые волны различной длины. Рассеянную радиацию измеряют в калориях на 1 кв. см горизонтальной поверхности в минуту.

Закон молекулярного рассеяния сформулирован так: *интенсивность рассеивания лучистой энергии молекулами воздуха обратно пропорциональна четвертой степени длины волны.*

Этот закон можно выразить формулой:

$$P = \frac{A}{\lambda^4},$$

где  $P$  — показатель рассеяния;

$\lambda$  — длина волны;

$A$  — некоторая постоянная, зависящая от показателя преломления вещества рассеивающих частиц и от числа частиц в единице объема.

Закон выведен на основании предположения, что атмосфера не содержит никаких посторонних взвешенных частиц и что свет рассеивается только молекулами газа. Такие условия или близкие к ним бывают лишь в безоблачные дни в горах на значительной высоте, где пыли и водяного пара очень мало.

Допустим, что показатель рассеяния для красных лучей с длиной волны 0,70  $\mu$  равен 1. Тогда, пользуясь приведенной формулой, легко рассчитать, что для других длин волн показатель рассеяния будет иметь следующие значения, приведенные в таблице 7.



Таблица 7

Показатель молекулярного рассеяния лучистой энергии солнца для волн различной длины

Длина волны (в $\mu$ )	Показатель рассеяния
0,70	1,0
0,62	1,6
0,57	2,2
0,52	3,3
0,47	4,9
0,44	6,4
0,41	8,5
0,35	16,0
0,30	30,0

Таблица показывает, что с уменьшением длины волны показатель рассеяния резко возрастает. Волны длиной 0,35  $\mu$  в два раза короче волн длиной 0,70  $\mu$  и рассеиваются в 16 раз сильнее их.

Чем длиннее волна, тем легче она огибает молекулу и проходит дальше; чем короче волна, тем легче она рассеивается молекулой. Поэтому наиболее короткие волны — голубые, синие и фиолетовые лучи — рассеиваются молекулами воздуха сильнее других; этим объясняется голубая и синяя окраска небесного свода; соответствующая наиболее коротким волнам фиолетовая окраска не получается потому, что яркость фиолетовых волн по сравнению с голубыми и синими относительно мала. Кроме того, человеческий глаз менее чувствителен к фиолетовым лучам, чем к голубым и синим. При одновременном наличии всех этих волн создается впечатление синего цвета.

Из сказанного вытекает, что рассеянный свет содержит значительное количество коротких волн. Однако общая интенсивность рассеянного света по сравнению с прямой солнечной радиацией невелика.

Атмосфера никогда не бывает чистой и сухой; в ней всегда имеются во взвешенном состоянии частицы пыли, дыма, водяные капли, кристаллы и др. По сравнению с молекулами воздуха они имеют большой объем и рассеивают не только короткие волны, но и более длинные, которые в сумме с короткими волнами создают для глаза впечатление *белого цвета*. Поэтому облака, состоящие из капель воды или кристаллов, имеют белый цвет.

Части небесного свода, близкие к горизонту, наблюдаются через приземные слои атмосферы, в которых содержится большое количество пыли. Поэтому *полоса небесного свода, прилегающая к горизонту, имеет светло-голубую окраску*, а не синюю, как слои атмосферы, расположенные более высоко над горизонтом.

Запыленность воздуха возрастает при сухой, жаркой и ветреной погоде, способствующей поднятию пыли с поверхности почвы; при этих условиях усиливается белесоватый цвет небесного свода. При поднятии на высокие горы количество пылевых частиц, рассеивающих световые волны, становится меньше, поэтому цвет небесного свода становится чистым темно-синим.

Наиболее длинные световые волны — красные и оранжевые лучи — мало рассеиваются молекулами воздуха и проходят сквозь земную атмосферу сравнительно свободно. Поэтому солнце и луна при их восходе или закате, когда лучи пронизывают более толстый слой атмосферы и короткие волны в значительной мере отсеиваются, кажутся окрашенными в оранжево-красный цвет. Этим же объясняется красный и оранжевый цвет утренней и вечерней зари.

Существует и другая теория, объясняющая происхождение голубого цвета неба, разработанная М. Смолуховским.

Молекулы воздуха все время находятся в движении. Вследствие этого распределение молекул в пространстве никогда не бывает строго равномерным, но внутри газа всегда образуются местные кратковременные сгущения и разрежения, так называемые флуктуации.

Величина этих сгущений была вычислена Смолуховским; они действуют на свет как очень малые частицы, т. е. разбрасывают преимущественно голубые, синие и фиолетовые лучи.

Таким образом, голубой цвет небесного свода может быть объяснен рассеянием света не отдельными молекулами, а теми временными сгущениями и разрежениями, которые называются движением молекул.

Обе теории приводят к одинаковым результатам.

Молекулярное рассеяние света мелкой частицей по различным направлениям происходит неодинаково; в направлении лучей и навстречу им интенсивность рассеяния в несколько раз больше, чем в направлениях, перпендикулярных направлению падающего света. Для частиц, имеющих радиус больше  $10^{-3}$  см, т. е. для капель тумана, облаков и мороси, рассеяние не зависит от длины волны радиации и одинаково во всех частях спектра. Поэтому облака и туман имеют белый цвет.

## 9. Сумерки

Солнце после захода оказывается ниже плоскости горизонта. Земля последовательно затеняет атмосферу, начиная с нижних слоев. Допустим, что место наблюдения находится в точке А (рис. 14). АВС показывает затененную часть атмосферы. Выше атмосфера освещена прямыми солнечными лучами. Каждая молекула атмосферы и каждая взвешенная в ней частица рассеивают падающие на них солнечные лучи.

Время похода и возврата в походы восточной и западной половины сумбурского района (на первом этапе работы)

Местн		40°		35°		30°		25°		20°	
восточная половина		западная половина		восточная половина		западная половина		восточная половина		западная половина	
час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.
Территориальный маршрут											
Амурь						Амурь					
6	48	19	20	31	31	6	46	19	23	33	33
5	48	20	08	35	35	5	34	20	22	38	38
5	48	20	18	35	35	5	35	20	33	39	39
6	08	20	02	34	34	5	36	20	15	37	37
6	31	19	28	31	31	6	27	19	33	34	34
Территориальный маршрут											
45°						50°					
восточная половина		западная половина		восточная половина		западная половина		восточная половина		западная половина	
час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.
Территориальный маршрут											
Амурь						Амурь					
6	43	19	26	36	36	6	39	19	30	40	40
5	51	20	04	39	39	5	38	20	17	44	44
5	48	20	38	44	44	4	56	20	59	51	51
5	17	20	50	45	45	4	54	21	13	53	53
5	44	20	27	42	42	5	28	20	44	46	46
6	19	19	39	36	36	6	13	19	46	41	41
Территориальный маршрут											
55°						60°					
восточная половина		западная половина		восточная половина		западная половина		восточная половина		западная половина	
час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.	час. мин.	мин.
Территориальный маршрут											
Амурь						Амурь					
6	35	19	35	45	45	6	29	19	41	52	52
5	22	20	33	52	52	5	00	20	55	64	64
4	24	21	42	65	65	3	51	22	06	109	109
4	07	21	05	57	57	4	38	21	33	67	67
6	03	19	54	46	46	5	52	20	07	53	53

Месяц	Географическая широта 65°				
	восход солнца		заход солнца		продолжительность сумерек
	час.	мин.	час.	мин.	мин.
Апрель	6	19	19	51	61
Май	4	28	21	28	91
Июнь	2	38	23	10	Всю ночь
Июль	2	13	23	52	’ ’
Август	3	52	22	18	150
Сентябрь	5	35	20	23	68

Вследствие этого после захода солнца наблюдаются сумерки.

По мере понижения солнца за горизонт затененный слой атмосферы увеличивается, нижняя граница освещенной части поднимается вверх. Когда солнце опустилось ниже горизонта более чем на  $6^{\circ},5$ , гражданские <sup>1</sup> сумерки считаются окончанными.

Утренние сумерки предшествуют восходу солнца.

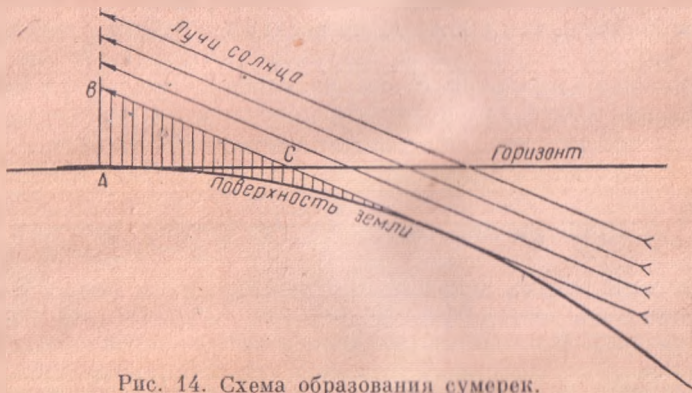


Рис. 14. Схема образования сумерек.

Возможная продолжительность времени производства полевых работ без искусственного освещения определяется промежутком времени от начала утренних сумерек до окончания вечерних. Продолжительность сумерек зависит от географической широты и времени года. В таблице 8 дано время восхода и захода солнца, а также продолжительность сумерек для различных месяцев вегетационного периода и географических широт.

Пользуясь этой таблицей, легко определить продолжительность освещенной части суток. Так, для широты  $35^{\circ}$  и  $65^{\circ}$

<sup>1</sup> Различают также астрономические сумерки: они оканчиваются, когда солнце опускается ниже горизонта на  $18^{\circ}$ ; при этом наступает полная темнота и хорошая видимость всех звезд разной величины и яркости.

эта продолжительность на первое число каждого месяца будет следующая (табл. 9).

Таблица 9

Продолжительность освещенной части суток на первое число каждого месяца

Месяц	35°		55°		Разность	
	час.	мин.	час.	мин.	час.	мин.
Апрель	13	34	14	30	0	56
Май	14	38	16	54	2	16
Июнь	15	30	19	07	3	37
Июль	15	40	19	38	3	58
Август	15	02	17	52	2	50
Сентябрь	13	59	15	23	1	24

Данные таблицы показывают, что в северных широтах в течение летних месяцев продолжительность освещенности суток значительно больше, чем в южных широтах, особенно в период с мая по август.

Перемещать культуру с юга на север — это значит ставить ее в условия более длинного дня; перемещать культуру с севера на юг — значит ставить ее в условия более короткого дня.

## 10. Приборы для измерения солнечной радиации

Солнечные лучи, падая на какое-либо тело, могут вызвать несколько различных эффектов: тепловой, световой, химический, электрический. Каждый из них может быть измерен.

Важное производственное значение имеет также продолжительность солнечного сияния, т. е. число часов сияния солнца за день, а также за декаду, сезон, год и пр.

Рассмотрим приборы, применяемые для измерения интенсивности солнечной радиации, освещенности и продолжительности солнечного сияния.

### Компенсационный пиргелиометр

Основным, абсолютным прибором для измерения интенсивности солнечной радиации в м. кал/см<sup>2</sup>·мин является компенсационный пиргелиометр Ангстрема. Устройство его следующее (рис. 15). Две очень тонкие манганиновые пластинки 1 и 2 с одной стороны зачернены. С противоположной стороны к ним подклеены шеллаком спирали 3 и 4 термопары, состоящей из меди и констан-

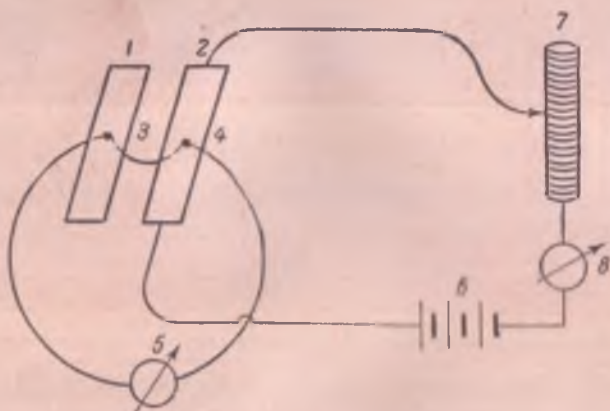


Рис. 15. Схема компенсационного пиргелиометра Ангстрема.

тана. В цепь термоэлемента включен чувствительный нуль-гальванометр 5.

Если пластинки 1 и 2, а следовательно, и оба спая термопары имеют неодинаковую температуру, то стрелка гальванометра отклонится в ту или другую сторону, в зависимости от того, какая пластинка будет иметь более высокую температуру.

Допустим, что на пластинку 1 падают солнечные лучи, а пластинка 2 находится в тени. Тогда температура их будет разная: пластинка 2 будет иметь более низкую температуру, чем пластинка 1, и стрелка гальванометра немедленно отклонится от нулевого положения. Чтобы определить, какое количество солнечной энергии падает на пластинку 1, будем подогревать пластинку 2, пропуская через нее электрический ток. Для этого пластинку 2 включим во вторичную цепь, которая состоит из источника тока 6, реостата 7, миллиамперметра 8 и выключателя.

Изменяя сопротивление, подберем такую силу тока, при которой стрелка гальванометра 5 займет нулевое положение. Это означает, что количество калорий, подаваемых солнечными лучами пластинке 1, равно количеству калорий, подаваемых электрическим током пластинке 2.

Зная силу тока  $i$  и переводной множитель  $K$  прибора, легко определить количество тепла, выделяемое током:

$$M = Ki^2,$$

где  $M$  — количество тепла, выраженное в калориях, выделяемое током; очевидно, столько же калорий доставляют пластинке 1 солнечные лучи.

Так определяют интенсивность прямой солнечной радиации.

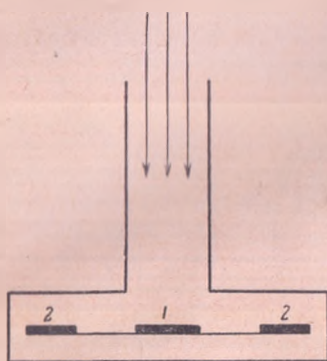


Рис. 17. Схема установки звездочки.

рый при помощи часового механизма в течение дня будет поворачивать трубку и все время направлять ее на солнце<sup>1</sup>. Концы термобатареи следует включить на чувствительный гальванограф, пригодный для регистрации токов от  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  ампера, тогда гальванограф в течение дня будет записывать ход интенсивности солнечной радиации. Установка — термоэлектрический актинометр, гелиостат и гальванограф — называется актинограф.

### Пиранометр

Термобатареи применяются также в пиранометре — приборе для измерения рассеянной и суммарной солнечной радиации. Термобатарея составлена из последовательно скрепленных полосок манганина и константана, расположенных в горизонтальной плоскости. Четные и нечетные термоспай расположены группами и покрыты краской: четные — белой, нечетные — черной (или наоборот). В результате получается пластинка — приемник с правильным чередованием черных и белых квадратов (рис. 18). Для защиты от действия длинноволновой радиации и от ветра приемная поверхность, укрепленная на металлической подставке, покрыта стеклянным колпаком. Концы термобатареи соединены

<sup>1</sup> Гелиостат представляет собой цилиндр с заложенным внутри часовым механизмом; ось цилиндра, вокруг которой он вращается, закрепляется в плоскости меридиана под углом, равным углу широты места наблюдения. При этом ось цилиндра будет параллельной оси земли, а дно цилиндра — параллельно плоскости экватора. Трубка со звездочкой устанавливается на выступающий верхний конец оси цилиндра и может вращаться вместе с ним. Если трубку нанести на солнце, то часового механизма в течение всего дня будет вращать трубку и сохранять ее направление на солнце.

с гальванометром или гальванографом. Если такую пластинку подвергнуть действию солнечной радиации, прямой или рассеянной, то термоспай, покрытые черной краской, нагреются до более высокой температуры, чем спай, покрытые белой краской. Нагревание происходит за счет радиации с длиной волны до 2—3 м. Эти волны почти полностью отражаются белыми полосками и поглощаются черными. В то же время более длинные волны, т. е. так называемая длинноволновая радиация, поглощаются одинаково и белыми и черными полосками и не создают термоэлектрических токов. В результате действия прямой и рассеянной радиации в проводнике возникает термоэлектрический ток, сила которого пропорциональна интенсивности воздействующей радиации.

Прибор, установленный на открытом месте, регистрирует интенсивность суммарной радиации, т. е. совместное действие прямой и рассеянной солнечной радиации.

Если приемник издалека затенить от действия прямых солнечных лучей, то на него будет действовать только рассеянный свет небесного свода.

Таким образом, пиранометр дает возможность измерять величину суммарной или рассеянной солнечной радиации. Для непрерывной записи радиации служит п и р а н о г р а ф, который состоит из пиранометра и присоединенного к нему гальванографа.

Следует отметить, что приемник, сделанный в виде пластинки, мало чувствителен к излучающим источникам, если они расположены на небольшой угловой высоте над приемником. Иначе говоря, при приближении солнца к горизонту чувствительность плоского приемника снижается. Точно так же рассеянный свет, поступающий от слоев атмосферы и от облаков, расположенных вблизи зенита или вблизи горизонта, воздействует на приемник по-разному.

Таким образом, плоский приемник не учитывает всей имеющейся радиации, а реагирует преимущественно на излучение источников, расположенных под большим углом над плоскостью приемника.

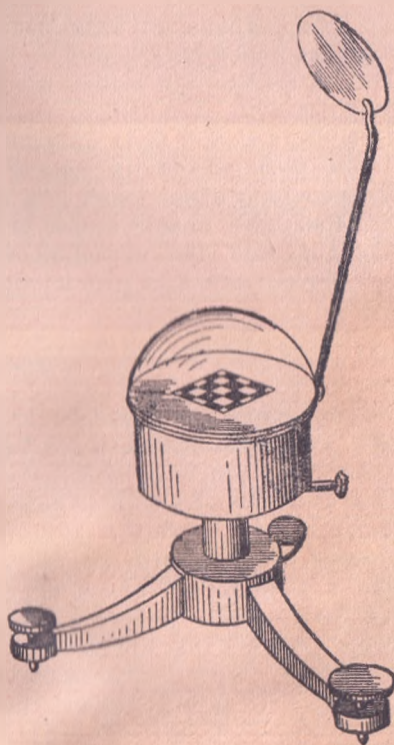


Рис. 18. Пиранометр.



Для устранения этих недочетов В. П. Витязевич предложил придать приемнику форму многогранника, сферы или полусферы<sup>1</sup>. В этом случае при любом положении солнца солнечная радиация будет падать на какой-то участок приемника под прямым углом. Приемник может быть сплошным или состоять из отдельных различно расположенных секций. Чувствительность его будет приблизительно одинаковой для лучей всех направлений.

Приемник может иметь также сферическую форму; тогда он будет удобен для изучения тепловых условий, например среди растительности или под пологом листьев.

### Альбедомер

Пиранометром можно измерять не только прямую и рассеянную радиацию солнца и атмосферы, но и коротковолновую радиацию, отраженную от поверхности земли и отдельных ее участков. Для этого приемник пиранометра надо направить вниз, к земной поверхности; он будет регистрировать величину отраженной радиации. Пиранометр, конструктивно приспособленный к измерению падающей и отраженной радиации, называется альбедомером. При работе с альбедомером сначала проводят измерение, направляя приемник вверх, затем направляют его вниз; в обоих случаях отсчитывают показание гальванометра. Отношение величин отраженной радиации к падающей, выраженное в процентах, и дает искомую величину отражающей способности данной поверхности, т. е. ее альbedo. Горизонтальность расположения приемника с достаточной точностью достигается без специальных приспособлений.

### Балансомер

Балансомер служит для измерения разности между суммой всех потоков радиации, поступающих на  $1 \text{ см}^2$  верхней горизонтальной приемной поверхности балансомера, и суммой всех потоков радиации, приходящих на  $1 \text{ см}^2$  его нижней приемной поверхности.

Приемниками балансомера являются две очень тонкие пластинки медной оксидированной и окрашенной в черный цвет фольги. Пластинки, расположенные параллельно одна другой, приклеены шеллаком через прослойку широкой бумаги соответственно к четным и нечетным спаям термопары и своими зачерненными поверхностями направлены в противоположные стороны.

<sup>1</sup> Комитет по делам изобретений при Госплане; авторское свидетельство от 31/VII 1939 г., № 55261, класс 42; 20<sub>02</sub>.

Если одну пластинку расположить горизонтально и поверхность ее направить к зениту, то вторая пластинка будет направлена к земной поверхности.

Черные поверхности балансомера ничем не защищены. Поэтому коротковолновая и длинноволновая радиации, падающие на верхнюю и нижнюю приемные пластинки, поглощаются ими почти одинаково полностью. Нагрев каждой пластинки приблизительно пропорционален общему потоку падающих на нее радиаций всех видов.

Гальванометр, включенный в цепь, показывает разность между потоками радиаций сверху и снизу, т. е. радиационный баланс действительного слоя, над которым расположен балансомер.

### Гелиограф

Важное значение для сельского хозяйства имеет продолжительность солнечного сияния, число солнечных дней и часов в течение вегетационного периода.

Для измерения продолжительности солнечного сияния служит гелиограф (рис. 19). Устройство его следующее. Сплошной стеклянный шар 1, укрепленный на подставке, собирает падающие на него солнечные лучи в одну точку — фокус. При движении солнца по небосводу фокус также перемещается, но в обратном направлении. На пути движения точки фокуса укреплена картонная лента 2 с нанесенными на ней часовыми делениями; она закладывается в пазы закрепленной на подставке чашки 3. Лучи солнца, собранные шаром в фокус, попадают на ленту, оставляют на ней след или даже прожигают. В течение дня на ленте записывается таким образом сплошная или прерывистая полоса. Расположение этой полосы по отношению к делениям, нанесенным на ленту, дает возможность установить часы, в которое светило солнце, и подсчитать общую продолжительность сияния солнца.

Описанный прибор *простейший*. Его можно применить на средних географических широтах. На севере, где солнце описывает по небосводу большую дугу, применяется более сложный прибор, чашку которого можно устанавливать не только на юг, но и на запад и восток и записывать солнечное сияние в этих положениях солнца. Этот прибор описал в книге В. И. Витковича «Практические занятия по сельскохозяйственной метеорологии», Сельхозиздат, 1962, стр. 14—28.

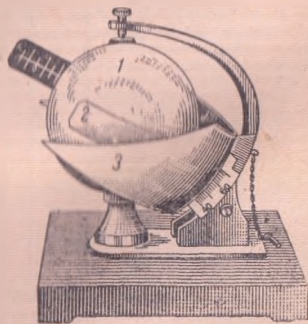


Рис. 19. Гелиограф.

Освещенность, создаваемую прямыми солнечными лучами и рассеянным светом, можно измерить фотоэлементом.

Солнечный луч, падая на так называемые фотоактивные вещества, вызывает испускание ими электронов. Это явление называется фотозффект. Фотоактивны все щелочные металлы: литий, натрий, калий, рубидий, цезий, также селен, кадмий и некоторые химические соединения, например сернистый таллий, сернистый свинец, сернистое серебро, закись меди, сернистый кадмий и др.

Сорванные под действием света со своих орбит электроны остаются внутри фотоактивного слоя или уходят во внешнее пространство. В первом случае фотозффект называется *внутренним*, во втором — *внешним*.

Из перечисленных элементов и химических соединений внутренним фотозффектом обладает селен, остальные — внешним.

*Количество электронов, освобождаемых действием света за одну секунду, прямо пропорционально световому потоку.*

Световой поток, т. е. энергия, приносимая светом, определяется числом световых квантов, поступающих в единицу времени. Чем больше это число, тем больше электронов в единицу времени приобретут дополнительную энергию и освободятся из освещенного вещества, тем сильнее фототок.

Каждый металл имеет свою спектральную характеристику, показывающую ту группу световых волн, которая в состоянии вызывать в нем явление фотозффекта.

На рисунке 20 приведены характеристики кремния и селена.

По вертикальной оси отложена величина чувствительности; по горизонтальной оси отложена длина волны. Графики показывают, что каждый элемент реагирует только на определенный участок спектра, при этом чувствительность его к отдельным длинам волн неодинакова; некоторые из них оказывают наибольшее

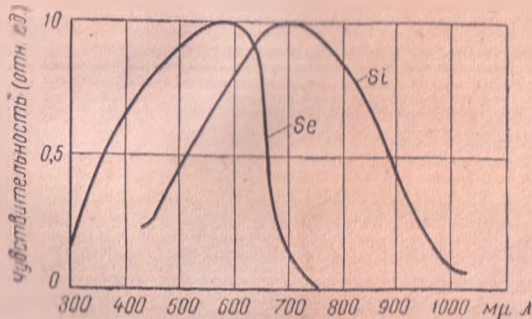


Рис. 20. Спектральная характеристика кремниевого и селенового фотоэлементов.

воздействие; действие со-  
седних по длине волн  
постепенно ослабевает и  
доходит до нуля. График  
в целом дает спектральную  
характеристику фотоак-  
тивного вещества и соот-  
ветствующего фотоэле-  
мента.

Особое значение имеет  
селен, так как спектраль-  
ная характеристика се-  
лена почти совпадает с  
характеристикой чувстви-  
тельности глаза. По-  
этому селеновый фото-  
элемент имеет особенно  
широкое техническое при-  
менение.

Схема устройства фотоэлемента с внешним фотоэффектом  
дана на рисунке 21.

На одной половине внутренней поверхности стеклянного бал-  
лона, из которого выкачан воздух, нанесен слой 1 фоточувстви-  
тельного металла, который служит катодом фотоэлемента. Анодом  
выступает пластина или металлическое кольцо с сеткой 2, впаива-  
емое в баллон. При помощи батареи 3 на электроды накладывается  
напряжение; в цепь включен гальванометр 4 или гальваногр.  
Между анодом и катодом образуется электрическое поле.

Свет, падающий через кольцо на фотоактивный слой, освобож-  
дает из него электроны; они движутся в направлении кольца и  
создают электрический ток, который можно измерить. Сила тока  
характеризует силу падающей лучистой энергии.

Наконец, существует третий вид фотоэффекта, так называе-  
мый фотоэффект в запирающем слое (рис. 22). На медную пла-  
стинку 1 нанесен очень тонкий слой 2 закиси меди  
( $Cu_2O$ ), который является светочувствительным полу-  
проводником, прозрачным  
для длинных волн.

Под действием света элек-  
троны, собитые в слое закиси  
меди, переходят в направле-  
нии к слою меди; обратное  
движение электронов чрез-  
вычайно затруднено. Между  
слоем окиси меди и медной

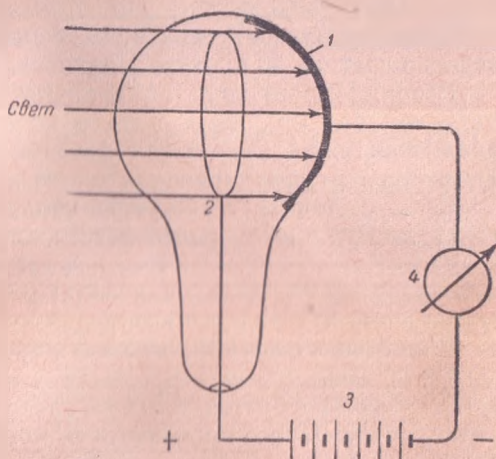


Рис. 21. Схема фотоэлемента с внешним фотоэффектом.

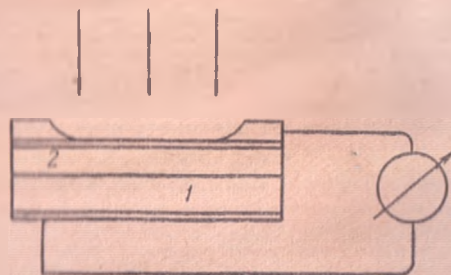


Рис. 22. Схема вентиляного фотоэле-  
мента.

пластинкой образуется так называемый запирающий слой, который пропускает электроны только в одном направлении и задерживает их в противоположном.

Возникновение тока на границе между полупроводником и металлом под действием света без участия посторонней электродвижущей силы называется фотоэффектом в запирающем слое. Фотоэлементы с запирающим слоем называются вентильные.

Если составить замкнутую цепь, в которую будет входить гальванометр и вентильный фотоэлемент, и осветить его, то в цепи возникает электрический ток; под действием света в фотоэлементе возникает электродвижущая сила; в нем световая энергия непосредственно переходит в электрическую.

Кроме спектральной, важной характеристикой всякого фотоэлемента является *интегральная чувствительность*, характеризующая его преобразовательную способность. Она численно равна силе фототока, возникающего в короткозамкнутой цепи фотоэлемента при падении на него единицы светового потока.

Для видимой части спектра интегральная чувствительность измеряется в микроамперах на люмен.

В таблице 11 приведена интегральная чувствительность для некоторых фотоэлементов.

Т а б л и ц а 11

Интегральная чувствительность фотоэлементов

Фотоэлемент	Максимальная интегральная чувствительность в микроамперах на люмен
Меднозакисный	400
Селеновый	600
Сернисто-серебряный	8 000
Сернисто-галлиевый	11 000
Германиевый	30 000

Данные таблицы показывают, что особо чувствительным индикатором света является германиевый фотоэлемент.

Фотоэлементы имеют широкое практическое применение.

Допустим, что фотоэлемент освещен лучом источника света, расположенного на известном расстоянии, и вырабатывает ток. Если на пути освещающего луча поместить какое-либо непрозрачное препятствие, то освещение фотоэлемента прекратится и фототок ослабнет. Это колебание силы тока используется для включения или выключения соединенного с фотоэлементом реле.

Фотоэлемент в соединении с реле может вести счет животных, пошедших в загон или вышедших из него. При помощи фотореле на птицефабриках сортируют яйца по прозрачности и качеству.

При прохождении луча через стационарного периода характеризируются отражают 29%, поглощают 38% фотоприемника.

При помощи фотоприемника можно фиксировать способность листьев доминантную высоту, по которой может подниматься около 680 м пропускающая или цистерну жидкостью (вода, молоко, бензин) резко возрастает по мере с обеих сторон в стекле сосуда инфракрасной части с одной наружной стороны устанавливается источник света, освещающий фотоприемник, помещенный по диаметру от многих сосудов. Если заливаемая жидкость дошла до уровня ее плотности поднимающийся на ней поплавок пересекает луч и фотоприемник: кривая кривая. Подобным же образом можно регулировать блеск отполированных бункера или ящика сыпучими веществами: мука, известь, уголь. В этом случае пересечет луч сама масса сыпучести вещества.

Фотоприемник, смонтированный в машину, останавливает ее, если по неосторожности рука рабочего окажется в опасном положении.

Солнечный фотоприемник, смонтированный вместе с магнитоэлектрическим измерителем и предназначенный для измерения освещенности, называется люксметр (рис. 23). Он применяется для измерения освещенности, создаваемой естественным дневным светом, а также лампами накаливания и люминесцентными.

Фотоприемник — это прибор, преобразующий солнечную энергию непосредственно в электрическую.

Препятствует широкому использованию фотоприемников как преобразователей солнечной энергии малый коэффициент полезного действия. Значительные успехи в этом направлении достигнуты в связи с использованием полупроводников. Так, у фотоприемников, сделанных из полупроводника кремния, коэффициент

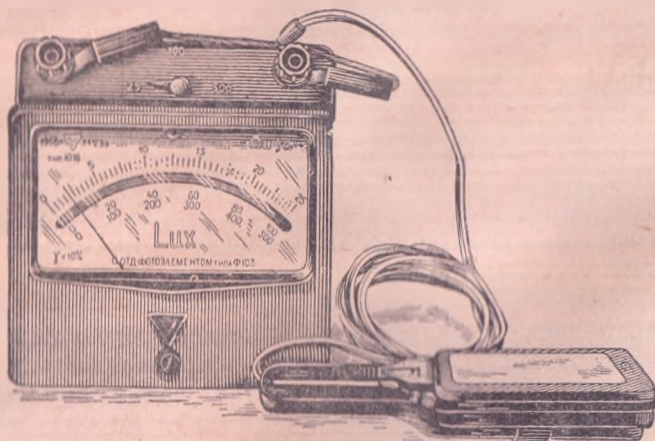


Рис. 23. Люксметр.

полезного действия свыше 10%; возникающий ток уже может быть использован.

Соединив фотоэлементы в солнечные батареи, можно с 1 м<sup>2</sup> рабочей поверхности полупроводниковой батареи в ясный солнечный день получить выходную мощность до 100 вт.

В дальнейшем при увеличении коэффициента полезного действия также полупроводниковые фотоэлементы, преобразующие солнечную энергию, могут быть источником получения неограниченного количества электроэнергии.

## 11. Альbedo

Падающая на землю солнечная радиация частично отражается. Это отражение происходит главным образом в области световых лучей, т. е. в области более коротких волн спектра. *Отношение интенсивности отраженной радиации к интенсивности падающей, выраженное в процентах, характеризует отражательную способность данной поверхности и носит название альbedo.*

Наибольшей отражательной способностью обладает снежный покров. Свежевыпавший снег отражает до 90% падающей на него солнечной радиации, влажный снег отражает 60%, а слежавшийся и загрязненный снег — около 45% падающей на него солнечной радиации.

Различные виды почв и поверхностных покровов имеют разную отражательную способность (табл. 12).

Таблица 12

Альbedo различных поверхностей

Вид поверхности	Альbedo (в %)
Сухой чернозем	14
Влажное паровое поле	5—7
Сухое паровое поле	8—12
Песок кварцевый желтый	35
Глинистая почва	20
Зеленая трава	20—33
Овес, вика, горох	20
Рожь и пшеница в различных фазах вегетации	10—25

Ангстрем изучал отражающую и поглощающую способность широколистных листьев. Для этого он покрывал листьями пираниметр. Оказалось, что молодые листья, содержащие большое количество воды, отражают 19%, поглощают до 55% и пропускают 26% падающей на них радиации.

Старые листья в конце вегетационного периода характеризуются другими свойствами: они отражают 29%, поглощают 38% и пропускают 33% радиации.

В зеленой части спектра пропускная способность листьев достигает 45%; в области волны длиной около 680 мкм пропускная способность уменьшается до 50, после чего снова резко возрастает для волны длиной выше 700 мкм, а также для инфракрасной части солнечного спектра.

Эти данные приблизительные. Величина их зависит от многих факторов, в частности от характера растительности, ее плотности и от других условий. Из сказанного вытекает важное следствие: *под пологом растительности солнечный свет не только ослаблен отражением и поглощением, но и имеет другой спектральный состав.*

Отражение прямой солнечной радиации от *водной* поверхности в большей степени зависит от угла падения лучей и от наличия волн.

При высотах солнца больше 45° гладкая горизонтальная водная поверхность отражает от 2 до 5%; при малых высотах солнца (меньше 5°) отражается свыше 80%; водная поверхность, покрытая волнами, отражает 10% прямой радиации.

## 12. Эффективное излучение

Температура Земли в целом остается почти неизменной. Отсюда можно сделать вывод, что Земля не только получает тепло, но и излучает его. Это излучение в виде длинных волн происходит в течение круглых суток. В дневные часы оно с большим избытком покрывается притоком тепла солнечной радиации. В ночные часы длинноволновое излучение Земли является причиной понижения температуры поверхности почвы и воздуха.

Проходя через атмосферу, излучение в значительной степени поглощается водяным паром, облаками, озоном и углекислым газом. Атмосфера подогревается и, в свою очередь, становится излучателем длинноволновой радиации в мировое пространство и в направлении земной поверхности.

Ночное излучение Земли усиливается в ясные безоблачные ночи, а также при малом содержании в атмосфере пыли и водяного пара. Особенно сильно это выражено в пустынях, где дневная температура, достигающая 40° и выше, ночью понижается настолько, что может вызвать даже замерзание водной поверхности. В средних широтах это явление ночного излучения выражено не так сильно; однако в безоблачные ночи весной и осенью оно может быть причиной возникновения заморозков, губительно действующих на различные культуры.

Допустим, что земная поверхность в ночные часы излучает как черное тело. Величину излучения черной поверхности можно вычислить теоретически, пользуясь законом Стефана. Количество



тепла, излучаемое 1 см<sup>2</sup> черной поверхности в 1 мин., выражается формулой:

$$E = 8,2 \cdot 10^{-11} (273 + t)^4 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$$

Здесь  $t$  — температура излучающего тела.

Для любого заданного значения температуры соответствующую ей величину  $E$  можно вычислить по приведенной формуле.

Величину фактического излучения черной поверхности можно измерить также пиргеометром<sup>1</sup>.

Фактическое излучение называется эффективным излучением; эту величину обозначим  $E_{\text{эф}}$ .

Опыт показывает, что измеренная прибором величина фактического излучения обычно имеет значительно меньшую величину, чем теоретическая, вычисленная по формуле Стефана.

Это расхождение показывает, что, кроме расхода тепловой энергии излучением, существует приход длинноволновой радиации, встречное излучение  $E_{\Lambda}$ , направленное к поверхности Земли от атмосферы. Это встречное излучение частично компенсирует расход тепла земной поверхностью. На основании сказанного можно написать равенство:

$$E_{\text{эф}} = E - E_{\Lambda}.$$

В этом равенстве  $E_{\text{эф}}$  определяется опытным путем. Зная температуру излучающей поверхности и применяя закон Стефана, легко рассчитать  $E$ .

Подставляя полученные значения  $E_{\text{эф}}$  и  $E$  в приведенное выше уравнение, можно определить величину  $E_{\Lambda}$  — встречного излучения атмосферы и облаков.

### 13. Некоторые результаты измерений эффективного излучения

Чтобы можно было судить о величине эффективного излучения, приведем результаты измерений в Слуцке (близ Ленинграда) и в Одессе (табл. 13).

Таблица 13  
Величины эффективного излучения (в кал/см<sup>2</sup> · мин)

Месяц	V	VI	VII	VIII	IX
Слуцк (близ Ленинграда)	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12
Одесса	0,21	0,19	0,20	0,21	0,20

<sup>1</sup> Пиргеометр описан в книге В. И. Виткевича «Практические занятия по сельскохозяйственной метеорологии». Сельхозгиз, М., 1962, а также в книге Ю. Д. Ивашевского «Актинометрические приборы». Гидрометиздат, М., 1957.

Таблица показывает, что эффективное излучение достигает больших значений; на юге оно сильнее, чем на севере.

На основании измерений в Одессе составлена таблица прихода прямой солнечной радиации на  $1 \text{ см}^2$  горизонтальной поверхности и расхода тепла путем излучения за каждый месяц (табл. 14).

Таблица 14

Приход прямой солнечной радиации и расход излучением  
(в ккал/см<sup>2</sup> за месяц)

Месяц	V	VI	VII	VIII	IX
Прямая солнечная радиация	7,2	8,7	11,6	9,7	5,9
Излучение	1,5	1,5	2,0	2,2	2,4

Из данных таблицы видно, что количество тепла, излучаемого земной поверхностью, составляет значительный процент прихода.

Величина излучения зависит от различных метеорологических факторов и прежде всего от температуры, абсолютной влажности и облачности.

При повышении температуры величина эффективного излучения также значительно повышается; при повышении абсолютной влажности, наоборот, эффективное излучение понижается. Облака усиливают встречное излучение. При этом оказывают влияние форма облаков и их количество.

Низкие облака и туман вызывают значительное понижение эффективной радиации.

Приблизительно за 1,5 часа до захода солнца расход тепла путем излучения начинает превышать приток тепла; так продолжается всю ночь.

Эффективное излучение имеет правильный годовой ход. Максимум излучения наблюдается весной, минимум — зимой.

С подъемом над уровнем моря, например в горных областях, величина эффективного излучения увеличивается, так как встречное излучение и абсолютная влажность с высотой уменьшаются. Однако понижение температуры с высотой действует в обратном направлении. Прямые измерения, проведенные в горных областях на разных высотах, показали, что эффективное излучение повышается только до некоторой высоты, после чего начинает медленно убывать.

Изложенные выводы ориентировочны, так как число пунктов, в которых измеряется эффективное излучение, незначительно.

тепла, излучаемое 1 см<sup>2</sup> черной поверхности в 1 мин., выражается формулой:

$$E = 8,2 \times 10^{-11} (273 + t)^4 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин.}$$

Здесь  $t$  — температура излучающего тела.

Для любого заданного значения температуры соответствующую ей величину  $E$  можно вычислить по приведенной формуле.

Величину фактического излучения черной поверхности можно измерить также пиргеометром<sup>1</sup>.

Фактическое излучение называется эффективным излучением; эту величину обозначим  $E_{\text{эф}}$ .

Опыт показывает, что измеренная прибором величина фактического излучения обычно имеет значительно меньшую величину, чем теоретическая, вычисленная по формуле Стефана.

Это расхождение показывает, что, кроме расхода тепловой энергии излучением, существует приход длинноволновой радиации, встречное излучение  $E_{\text{А}}$ , направленное к поверхности Земли от атмосферы. Это встречное излучение частично компенсирует расход тепла земной поверхностью. На основании сказанного можно написать равенство:

$$E_{\text{эф}} = E - E_{\text{А}}$$

В этом равенство  $E_{\text{эф}}$  определяется опытным путем. Зная температуру излучающей поверхности и применяя закон Стефана, легко рассчитать  $E$ .

Подставляя полученные значения  $E_{\text{эф}}$  и  $E$  в приведенное выше уравнение, можно определить величину  $E_{\text{А}}$  — встречного излучения атмосферы и облаков.

### 13. Некоторые результаты измерений эффективного излучения

Чтобы можно было судить о величине эффективного излучения, приведем результаты измерений в Слуцке (близ Ленинграда) и в Одессе (табл. 13).

Таблица 13  
Величины эффективного излучения (в кал/см<sup>2</sup> · мин)

Месяц	V	VI	VII	VIII	IX
Слуцк (близ Ленинграда)	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12
Одесса	0,21	0,19	0,20	0,21	0,20

<sup>1</sup> Пиргеометр описан в книге В. И. Виткевича «Практические занятия по сельскохозяйственной метеорологии». Сельхозгиз, М., 1962, а также в книге Ю. Д. Нишиковского «Актинометрические приборы». Гидрометиздат, М., 1957.

Таблица показывает, что эффективное излучение достигает больших значений; на юге оно сильнее, чем на севере.

На основании измерений в Одессе составлена таблица прихода прямой солнечной радиации на 1 см<sup>2</sup> горизонтальной поверхности и расхода тепла путем излучения за каждый месяц (табл. 14).

Таблица 14

Приход прямой солнечной радиации и расход излучением  
(в ккал/см<sup>2</sup> за месяц)

Месяц	V	VI	VII	VIII	IX
Прямая солнечная радиация	7,2	8,7	11,6	9,7	5,9
Излучение	1,5	1,5	2,0	2,2	2,4

Из данных таблицы видно, что количество тепла, излучаемого земной поверхностью, составляет значительный процент прихода.

Величина излучения зависит от различных метеорологических факторов и прежде всего от температуры, абсолютной влажности и облачности.

При повышении температуры величина эффективного излучения также значительно повышается; при повышении абсолютной влажности, наоборот, эффективное излучение понижается. Облака усиливают встречное излучение. При этом оказывают влияние форма облаков и их количество.

Итак, облака и туман вызывают значительное понижение эффективной радиации.

Приблизительно за 1,5 часа до захода солнца расход тепла путем излучения начинает превышать приток тепла; так продолжается всю ночь.

Эффективное излучение имеет правильный годовой ход. Максимум излучения наблюдается весной, минимум — зимой.

С подъемом над уровнем моря, например в горных областях, величина эффективного излучения увеличивается, так как встречное излучение и абсолютная влажность с высотой уменьшаются. Однако понижение температуры с высотой действует в обратном направлении. Прямые измерения, проведенные в горных областях на разных высотах, показали, что эффективное излучение повышается только до некоторой высоты, после чего начинает медленно убывать.

Изложенные выводы ориентировочны, так как число пунктов, в которых измеряется эффективное излучение, незначительно.

#### 14. Баланс лучистой энергии

Выше были рассмотрены основные слагаемые прихода и расхода лучистой энергии. К ним относятся:

1. Прямая солнечная радиация, которую сокращенно обозначим — Солн.
2. Рассеянная радиация — Расс.
3. Излучение атмосферы — Атм.
4. Длинноволновое излучение, испускаемое поверхностью почвы, — Изл.
5. Отраженная радиация, главным образом в видимой части спектра, — Отр.

Баланс лучистой энергии в данное время и в данном месте определяется величиной отдельных слагаемых: они могут изменять свою величину в значительных пределах, поэтому сумма — баланс лучистой энергии может быть положительным или отрицательным.

Например, в яркий солнечный день баланс — Бал. может быть изображен в виде схемы:

$$\text{Бал.} = \text{Солн.} + \text{Расс.} + \text{Атм.} - \text{Отр.} - \text{Изл.}$$

В облачные дни, когда притока прямой солнечной энергии нет, баланс определяется следующими слагаемыми:

$$\text{Бал.} = \text{Расс.} + \text{Атм.} - \text{Отр.} - \text{Изл.}$$

В почные часы отсутствует не только прямая, но и рассеянная радиация, поэтому нет и отраженной радиации. Баланс лучистой энергии в этом случае определяется следующими слагаемыми:

$$\text{Бал.} = \text{Атм.} - \text{Изл.}$$

В дневные часы летних месяцев баланс положителен, хотя значения отдельных слагаемых могут изменяться в больших пределах. Например, прямая солнечная радиация в облачные дни может полностью отсутствовать и основной приход солнечной энергии будет благодаря рассеянной радиации.

Величина рассеянной радиации в значительной степени зависит от формы и количества облаков, степени запыленности атмосферы, высоты места наблюдения над уровнем моря, положения светила над горизонтом и других условий.

Излучающая способность поверхности почвы зависит от ее характера, состава, содержания воды. В летние месяцы травяной покров становится более мощным и характеризуется меньшей теплопроводностью, чем весной, в результате чего излучение сильно понижается. Излучение атмосферы зависит от содержания водяных паров, количества и формы облаков, содержания углекислого газа.

Из сказанного понятно, что величина баланса лучистой энергии непрерывно изменяется. Поэтому типовые схемы баланса не имеют большого практического значения. Эти вопросы приходится решать для каждого конкретного места и времени, основываясь главным образом на результатах текущих наблюдений.

### 15. Годовой и суточный ход интенсивности прямой солнечной радиации

В годовом ходе для различных мест Советского Союза наблюдались следующие среднемесячные полуденные величины интенсивности прямой солнечной радиации на поверхность, перпендикулярную направлению солнечных лучей (табл. 15).

Таблица 15

Годовой ход прямой солнечной радиации  
(в кал/см<sup>2</sup> · мин)

Место наблюдения	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Амплитуда
Москва (Петровско-Разумовское)	0,92	1,06	1,18	1,23	1,22	1,18	1,17	1,10	1,17	1,10	0,96	0,80	0,43
Ленинград	0,92	1,06	1,22	1,26	1,27	1,24	1,21	1,22	1,20	1,14	0,98	0,79	0,48
Тбилиси	1,26	1,29	1,34	1,32	1,42	1,36	1,32	1,34	1,30	1,27	1,27	1,19	0,23
Ташкент	1,32	1,38	1,36	1,35	1,31	1,31	1,27	1,29	1,28	1,23	1,30	1,32	0,15
Свердловск	0,94	1,19	1,30	1,34	1,34	1,33	1,33	1,25	1,26	1,24	1,10	0,93	0,41
Иркутск	0,80	1,07	1,30	1,33	1,30	1,29	1,24	1,24	1,26	1,19	0,97	0,63	0,70

Из таблицы видно, что в годовом ходе наибольшие значения солнечной радиации приходятся на весенние месяцы, когда воздух еще мало запылен, наименьшие значения наблюдаются в декабре. В Якутске в весенние и летние месяцы интенсивность прямой солнечной радиации значительно превышает интенсивность для Москвы и приближается к интенсивности прямой солнечной радиации Ташкента, в декабре значение интенсивности падает очень низко. В связи с этим в Якутске наблюдается самая большая амплитуда колебаний.

Для иллюстрации суточного хода прямой солнечной радиации рассмотрим результаты измерений в Петровско-Разумовском (Москва) (табл. 16).

Наибольшая интенсивность солнечной радиации наблюдается в околополуденные часы. Максимальные значения ее приходятся не на полдень, как можно было бы ожидать теоретически,

Суточный ход прямой солнечной радиации (в кал./см<sup>2</sup> · мин)  
(средние многолетние данные)

Таблица 16

Часы \ Месяц	Часы																			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Май	0,05	0,44	0,73	0,98	1,11	1,16	1,22	1,24	1,23	1,23	1,24	1,17	1,12	1,02	0,81	0,51	0,27			
Июнь	0,28	0,58	0,80	0,98	1,09	1,02	1,19	1,21	1,19	1,19	1,21	1,14	1,01	0,90	0,86	0,65	0,36			
Июль	0,17	0,55	0,80	0,98	1,09	1,15	1,19	1,18	1,19	1,19	1,20	1,16	1,07	0,95	0,83	0,60	0,34			
Август	—	0,24	0,65	0,92	1,08	1,14	1,19	1,19	1,17	1,17	1,16	1,13	1,08	0,93	0,65	0,33	—			

Месячные и годовые суммы инсоляции и радиации (в ккал/см<sup>2</sup>)

Таблица 17

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год
Инсоляция	0,23	0,97	3,11	5,83	9,65	10,16	9,72	7,10	4,01	1,66	0,31	0,14	52,89
Радиация	1,19	3,63	7,95	11,55	16,72	16,82	16,08	13,01	8,83	5,04	1,49	1,02	103,32

и на различные часы. Это происходит потому, что около полудня в атмосфере развиваются вертикальные токи, которые способствуют запылению ее и увеличению содержания водяного пара.

Для практических целей вычисляют также сумму калорий радиации, которая приходится за день, месяц, сезон, год на единицу горизонтальной поверхности.

В качестве примера приведем месячные и годовые суммы радиации и инсоляции для Москвы (Петровско-Разумовское) (табл. 17).

На этом примере видно, что количество прямой солнечной радиации, падающее на горизонтальную поверхность, существенно отличается от количества радиации, падающей на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам.

Приведенные данные еще раз подчеркивают влияние рельефа на тепловой режим почвы: *поля разного наклона и ориентировки имеют разный солнечный и тепловой режим.*

Рассеянный свет также доставляет на земную поверхность значительное количество тепла. Это можно видеть из таблицы 18, составленной для Слуцка и Евпатории.

Таблица 18

Месячные суммы суммарной радиации (в ккал/см<sup>2</sup> · мин)  
и процентное соотношение прямой и рассеянной радиации

Месяц	Слуцк			Евпатория		
	суммарная радиация	прямая радиация (в %)	рассеянная радиация (в %)	суммарная радиация	прямая радиация (в %)	рассеянная радиация (в %)
I	0,7	30	70	3,0	32	68
II	1,8	34	66	4,7	39	61
III	5,5	51	49	8,4	53	47
IV	8,0	54	46	12,2	61	39
V	11,5	63	37	15,5	62	38
VI	12,2	61	39	17,4	69	31
VII	12,3	68	32	18,2	75	25
VIII	8,8	58	42	15,9	74	26
IX	5,1	53	47	12,0	71	29
X	2,9	43	57	8,0	62	38
XI	0,6	23	77	4,4	53	47
XII	0,4	22	78	2,6	37	63

Из таблицы видно, что Евпатория во все месяцы получает больше солнечной радиации, чем Слуцк. В течение девяти месяцев в Евпатории преобладает солнечная радиация, только в декабре, январе и феврале, когда число солнечных дней уменьшается, преобладает рассеянная радиация.



кучевые, слоисто-кучевые; они значительно усиливают освещенность по сравнению с освещенностью при безоблачном небе.

Плотные, облачные массы, например грозовые облака, могут значительно понижать освещенность.

На величину освещенности влияет также снежный покров, который в значительной степени отражает прямую и рассеянную солнечную радиацию. При этом освещенность увеличивается на 10—15%. Особенно велико это отражение при малых высотах солнца.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ РАСТЕНИЕМ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ. ТЕХНИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

### 1. Различные способы регулирования солнечной радиации

Важное производственное значение имеет вопрос о регулировании количества солнечной радиации, получаемой растением. Например, увеличения ее можно достигнуть прореживанием посевов или уменьшением нормы высеваемых на единицу площади семян. В плодоводстве для этой цели при формировании кроны удаляют лишнюю часть сучьев, выращивают деревья на достаточном расстоянии одно от другого.

Уменьшение количества солнечной радиации, получаемой каждым отдельным растением, можно достигнуть, например, загущенной посадкой, увеличением нормы посева семян, посадкой кулис на высокостебельных растениях, выращиванием культур под покровом других растений и другими приемами. При этом приходится принимать в расчет требования растения не только к солнечной энергии, но и ко всему комплексу внешних условий, в частности к площади питания.

Регулирование количества солнечной радиации, получаемого растением, возможно и в крупных масштабах, на больших площадях. Для этого прежде всего необходимо найти метод определения количества солнечной радиации, падающей на плоскость любого заданного наклона и ориентировки на любой широте и в заданный день и час.

Пользуясь этим методом, можно решить любой вопрос, связанный с распределением солнечной радиации, и, в частности, решить задачу регулирования количества солнечной радиации, получаемой растением в полевых условиях.

### 2. Количество солнечной радиации, падающей на плоскость любого наклона и ориентировки

Выше было сказано, что если интенсивность падающей солнечной радиации равна  $S_0$  и угол между падающим лучом и перпендикуляром к облучаемой поверхности равен  $\beta$ , то количество солнечной радиации, падающей на единицу заданной поверхности, определяется формулой:

$$S = S_0 \cdot \cos \beta.$$

В этом уравнении натуральное значение  $\cos \beta$ , умноженное на 100, показывает, сколько процентов солнечной радиации падает на единицу данной наклонной поверхности, если за 100% принять количество радиации, падающей на плоскость, перпендикулярную направлению луча.

На величину  $\cos \beta$  оказывают влияние следующие факторы:

1) угол наклона заданной поверхности к горизонту ( $\alpha$ );

2) угол ориентировки или азимут заданной поверхности ( $A$ ) относительно направления на солнце;

3) географическая широта места ( $\varphi$ );

4) склонение солнца ( $\delta$ ), зависящее от годового движения земли по ее орбите, т. е. от календарной даты;

5) часовой угол, зависящий от часа дня, т. е. от суточного вращения земли ( $t$ ).

Первые три фактора для заданного места — постоянные: часовой угол и склонение солнца непрерывно изменяются в связи с суточным и годовым движением земли.

Формулу для определения угла  $\beta$  можно вывести, если воспользоваться формулами сферической астрономии.

Не вдаваясь в детали вывода, приведем окончательную формулу<sup>1</sup> для расчета  $\cos \beta$ :

$$\begin{aligned} \cos \beta = & (\sin \varphi \cos \alpha + \cos \varphi \sin \alpha \cos A) \sin \delta + \\ & + (\cos \varphi \cos \alpha - \sin \varphi \sin \alpha \cos A) \cos \delta \cos t - \\ & - \sin \alpha \cdot \sin A \cos \delta \sin t). \end{aligned}$$

Вычисления по этой формуле требуют значительного времени. Поэтому разработан графический и табличный методы решения приведенного уравнения. Рассмотрим применение приведенной формулы при решении частных задач.

Допустим, что сплошной вертикальный ряд растений находится на широте  $40^\circ$ . Тогда, как показывают подсчеты по приведенной выше формуле, 2 см<sup>2</sup>, расположенных по обе стороны вертикального ряда, направленного с севера на юг, в сумме получают количество граммкалорий, которые можно определить по кривым на рисунке 27.

Из рисунка видно, что по мере возрастания высоты солнца от марта к июню общее количество солнечной энергии, получаемой рядом растений, расположенным с севера на юг, непрерывно нарастает. Максимальное количество приходится на 6—9 часов и на 15—18 часов.

В полдень лучи солнца скользят по вертикальным плоскостям, направленным с севера на юг, и количество получаемой ими солнечной энергии снижается до нуля.

<sup>1</sup> Эта формула была выведена автором в 1934 г. и доложена Ученому совету ТСХА 19/11 1937 г. с демонстрацией решения задачи о наиболее выгоднейшем направлении гряды, гребля и направлении рядового сева.

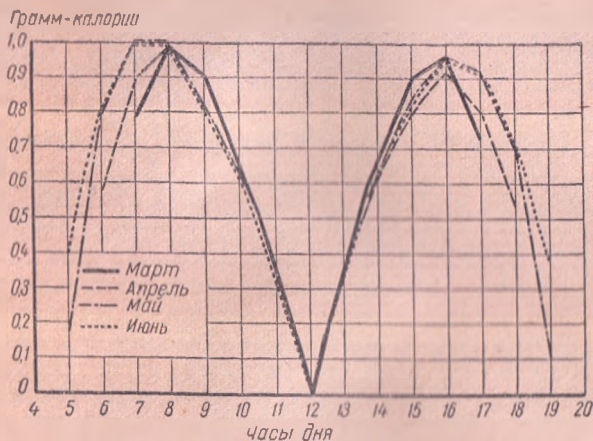


Рис. 27. Количество солнечной энергии, получаемой растениями при направлении рядков с севера на юг на широте 40°.

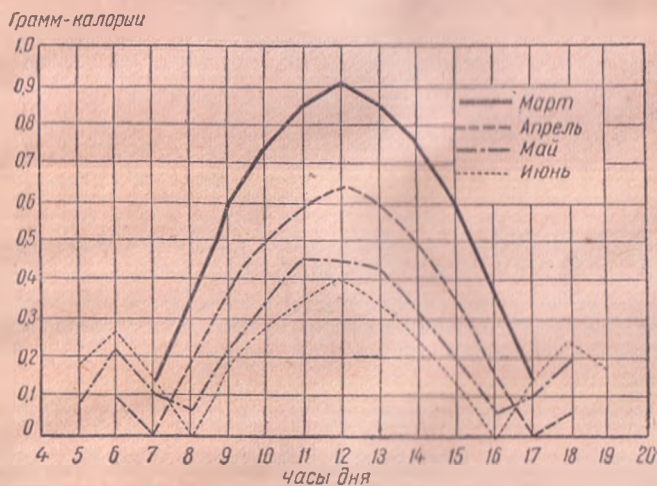


Рис. 28. Количество солнечной энергии, получаемой растениями при направлении рядков с запада на восток на широте 40°.

Из рисунка 28 видно, что количество солнечной энергии, получаемой рядом растений, расположенным с запада на восток, существенно отличается от количества энергии, получаемой рядом, направленным с севера на юг; кроме того, распределение этого количества по часам дня также другое. Максимальное количество приходится теперь на полуденные часы; минимум наблюдается

На Воронежской зональной опытной станции А. П. Карлов изучал влияние направления сева на урожай картофеля.

Опыты показали, что в среднем за два года при северо-южном направлении посадки прирост урожая составил 19,5 ц с 1 га, или 6,5%. Содержание крахмала в картофеле при этом увеличилось на 1,6%, или на 8,6 ц с 1 га.

В Полтавской области (1945—1947 гг.) агроном И. П. Ковбасенко проводил опыты с картофелем (сорт Ридовой) и с рожью (сорт Пейчкунтис). В среднем за три года был получен прирост урожая картофеля на 9—12 ц с 1 га и ржи на 5 ц с 1 га. При этом было отмечено, что растения северо-южного ряда в гораздо меньшей степени подвержены заболеваниям, чем растения западно-восточного ряда.

М. Р. Нагиев проводил опыты с озимой пшеницей сорта Шарк в Кировограде. При этом было установлено, что при обычном ридовом посеве по направлению с севера на юг прибавка урожая составляет 3,5 ц с 1 га, процент белка в зерне увеличивается до 3% по сравнению с процентом белка при направлении рядков растений с запада на восток.

В Ильинцах Вишницкой области в 1947 г. Мочульский и Савченко провели опыты с озимой пшеницей на девяти делянках. На каждой из них был сделан посев в направлении с севера на юг и с запада на восток.

Результаты этих опытов приведены в таблице 19.

Таблица 19

Зависимость урожая пшеницы от направления посева

№ делянки	Урожай (ц с 1 га)		Разница	
	С—Ю	З—В	ц с 1 га	%
I	35,8	31,8	4,0	12,6
II	36,8	31,8	4,5	14,2
III	34,3	33,1	1,2	3,6
IV	35,8	33,2	2,6	7,8
V	35,3	31,8	3,5	11,0
VI	38,5	31,4	7,1	22,6
VII	34,6	35,3	—0,7	—2,0
VIII	38,0	31,8	6,2	19,5
IX	38,1	37,6	0,5	1,3

Данные таблицы показывают, что при направлении посева С—Ю максимальный прирост урожая озимой пшеницы достигал 22,6%, средний прирост урожая равен 10,1%.

В последующие годы эти опыты были повторены на Полевой станции ТСХА И. П. Вавиловым. Прирост урожая ячменя оказался 13,9%, картофеля — 8%, овса — до 19%. Химический

анализ ячменя и картофеля показал, что ячмень при направлении посева с севера на юг содержит крахмала на 5—6% больше, чем при посеве с запада на восток. Картофель при тех же условиях содержит крахмала больше на 0,9—1,6%.

В 1956 г. автором были организованы опыты с культурой льна в Можайском районе Московской области в сельхозартели имени Калининна. На рисунке 29 показаны два пучка льна: слева — растения росли в ряду, направленном с запада на восток, т. е. при меньшей сумме солнечной радиации; справа — растения росли в ряду, направленном с севера на юг. Числовые характеристики этих двух групп растений приведены в таблице 20.

Рисунок 29 и особенно данные таблицы 20 имеют существенное значение. На них ясно, что:

1) ряды растений разного направления находятся в *разных условиях среды, в разных климатах*;

2) разные условия, в которых находятся ряды растений, оказывают настолько существенное влияние на растение и урожай, что формируют по существу *разные растения*. Первая форма, условно называем ее северо-южная, развивалась под влиянием меньших сумм солнечной радиации. Высота растений, а также техническая длина их существенно меньше; волокнистых веществ также меньше. Следовательно, *продольные свойства растений ниже*. Зато семена имеют больший вес; их на растении значительно больше; всхожесть и энергия прорастания значительно выше; крепость волокна и его качество также выше, чем у растений западно-восточного ряда. Таким образом, *северо-южная форма*, по-видимому, пригодна для получения более полноценных семян большего веса, с большим содержанием масла, пригодна для выработки более прочных тканей.

Растения западно-восточной формы более высокие, разница превышает 20 см. Техническая длина больше, содержание волокнистых веществ, гибкость волокна также больше. Эта форма, по-видимому, обладает лучшими поперечными качествами; однако число семян, их вес, энергия прорастания, всхожесть, а также крепость волокна меньше, чем у северо-южной формы.



Рис. 29. Развитие льна в зависимости от направления сева.

Зависимость качества урожая льна от направления сева

Показатели	Западно-восточный ряд	Северо-южный ряд	Разница
Общая средняя высота (в см)	92,8	70,7	22,1
Техническая длина (в см)	72,5	55,8	16,7
Содержание волокнистых веществ (в %)	15,82	14,35	1,47
Среднее число семян на растении (шт.)	30	38	-8
Вес 1000 семян (в г)	3,21	4,83	-1,62
Энергия прорастания (в %)	91	99,5	-8,5
Всхожесть (в %)	93	99,75	-6,75
Крепость волокна (в кг)	6	8	-2
Гибкость волокна	36	35	1
Качество волокна (балл)	15,79	16,32	-0,53

Эти исследования подтверждают тесную связь организма и среды. Достаточно изменить направления рядов растений и тем самым изменить климат среди растений, как немедленно изменяются некоторые свойства формы.

Разработанные автором *теоретические* основы влияния направления сева на рост и развитие растения были многократно подтверждены производственными опытами. *Выбор надлежащего направления сева (посадки) очень эффективный агротехнический прием повышения количества урожая, улучшения его качества.*

При *перекрестном севе* преимущество имеет клетка, стороны которой направлены с северо-востока на юго-запад и с северо-запада на юго-восток. По сравнению с клеткой, стороны которой направлены с севера на юг и с запада на восток, она получает больше солнечной энергии.

При расчете наиболее выгодного направления гребня оказалось, что если наклон боковых поверхностей его не превышает  $30^\circ$ , то влияние направления на количество получаемой солнечной энергии не превышает 3—4%. При больших углах наклона разница резко возрастает: северо-южный гребень может получить значительно большее количество солнечной энергии, чем западно-восточный. Особенно выгодно на севере гребни с крутыми склонами, так как они способствуют лучшему прогреванию почвы.

Опыты, поставленные в Хибинах, подтвердили этот теоретический вывод: разница температуры почвы в гребнях до глубины 20 см превышала температуру на ровном поле почти на  $3^\circ$ .

И. М. Колякова изучала влияние направления рядов на *рост и развитие сосны в условиях Московской области*. При этом оказалось, что суточный прирост сосны в рядах посадок с севера на юг больше, чем в рядах посадок с запада на восток. Различия в суточном приросте достигает 40% и складывается в основном

на дневного прироста. Величина ночного прироста верхушечного побега в рядах обоих направлений почти одинакова.

В рядах сосны, направленных с севера на юг, хвои больше, чем в рядах, направленных с запада на восток.

Влияние направления рядов на рост сосны и в диаметре наиболее сильно проявляется на деревьях в возрасте 12—13 лет.

При направлении рядов с севера на юг продуктивность насаждения увеличивается на 15%.

Таким образом, посадка сосны в направлении рядов с севера на юг обеспечивает более высокую производительность насаждений и сокращает время их выращивания.

Приведенные выше рассуждения о наиболее выгодном направлении сева основаны на учете только количества и качества солнечной радиации. Между тем, как было указано, изменение направления рядов сева ставит растения в различные условия микроклимата: изменяются не только получаемые растениями количество и состав солнечной радиации, но и температура почвы в междурядьях, испарение с поверхности почвы, ее влажность, воздухообмен, содержание углекислого газа и другие элементы микроклимата. Поэтому наиболее выгодным направлением посева (посадки) в зависимости от местных климатических и микроклиматических условий, рельефа и особенностей культуры может оказаться не северо-южное или западно-восточное, а какое-либо другое.

Таким образом, изменение направления посева (посадки) является методом выращивания культуры в разных климатических условиях, способом изменения растений, выведения новых сортов. Дальнейшие исследования должны выяснить пределы этих изменений для каждой культуры, а также вопрос о наследственной передаче приобретенных свойств.

#### 4. Техническое использование солнечной энергии

Основным источником энергии на Земле является солнце. Количество прямой и рассеянной солнечной энергии, падающей на земную поверхность, огромно; однако до настоящего времени используется лишь ничтожная доля этого непрерывного потока энергии.

Человек не только мало использует энергию прямой солнечной радиации, но и расходует те драгоценные, практически невозобновляемые запасы ее, которые в виде каменного угля, нефти и других продуктов образовались в предыдущие геологические эпохи. Эти продукты — сырье разнообразных ценнейших материалов, однако до настоящего времени уголь, нефть, древесина, торф в значительной мере расходуются для получения тепла.

К невозобновляемым запасам относятся также различные элементы, из которых освобождается атомная энергия.



Анасы энергии, которые находятся в распоряжении человека, огромны. Однако это не снимает вопроса о более полном использовании энергии прямых солнечных лучей и создаваемых ими вторичных источников энергии: течения воды в реках, движения воздушных масс, приливов и отливов.

Энергии движения воды и ветра используется уже давно.

Использование энергии прямых солнечных лучей только в последние десятилетия окончательно вышло из области экспериментальных исследований и внедряется в производство. В этом направлении большие работы выполнили проф. Б. П. Вейнберг, В. Б. Вейнберг, К. Г. Трофимов и многие другие.

### 5. Пути использования прямой солнечной энергии. «Горячий ящик»

Прямая солнечная радиация может быть трансформирована в тепловую, которая, в свою очередь, может быть трансформирована последовательно в механическую и электрическую.

Пользуясь фотоэлементами, особенно кремниевыми, солнечную энергию можно трансформировать прямо в электрическую.

Той же цели можно достигнуть при использовании солнечной энергии для нагревания термоэлектрической батареи и получения термотока. Наконец, солнечную энергию можно трансформировать в энергию химическую.

Первый из этих способов наиболее разработан.

Представим себе большой плоский ящик (рис. 30), сделанный из материала плохой теплопроводности; он накрыт несколькими листами стекла с небольшими воздушными промежутками между ними. В ящик помещен железный лист, окрашенный в черный цвет для лучшего поглощения падающей на него солнечной радиации.

Ориентировка и наклон ящика выбираются так, чтобы солнечные лучи падали на стеклянную поверхность под углом, близким к прямому. Световые волны свободно проходят внутрь ящика и нагревают железный лист, температура его повышается.

В течение дня, через каждые 1—2 часа, ориентировку и наклон ящика меняют в соответствии с видимым движением солнца по небосводу с тем, чтобы угол падения солнечных лучей на стекло в течение всего дня был близким к прямому. В течение дня температура железного листа может повышаться до 200°.

Нагретый лист железа сам начинает излучать длинные, инфракрасные тепло-

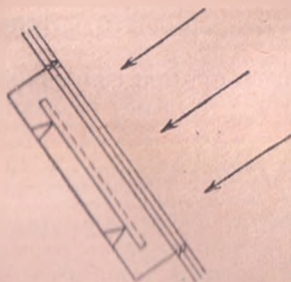


Рис. 30. Горячий ящик.

ные волны, которые, однако, задерживаются теплоизоляционными стенками и стеклом. Таким образом, ящик, накрытый стеклом, способен аккумулировать солнечную энергию: он свободно пропускает ее внутрь и сильно затрудняет обратный выход накопленного тепла.

Описанный метод аккумуляции солнечной энергии называют «горячий ящик». Высокие температуры, получающиеся внутри ящика, можно использовать для различных технических целей.

Допустим, что внутри горячего ящика заложены два листа железа, из которых сделана плоская коробочка толщиной 7—8 мм, как это показано на рисунке пунктиром. Снизу и сверху коробочки прикреплены две трубки с кранами; нижнюю подключают к водопроводу. Вода входит в коробочку снизу и выходит через верхнюю трубку. Проходя через коробочку, вода успевает нагреться до высокой температуры; через верхнюю трубку выходит горячая вода, получаемая без затраты топлива. Подобная простейшая установка может иметь широкое применение во всех случаях, где требуется горячая вода, например при устройстве бань, прачечных, при уходе за животными, приготовлении им пищи, в консервном производстве и т. п. В южных районах СССР в настоящее время работает свыше 200 солнечных водонагревательных установок.

Если к железному листу приделать небольшие горизонтальные подожки, то горячий ящик может быть использован для сушки фруктов. Опыты показали, что в таких гелиосушилках сушка происходит в 2—4 раза быстрее, чем непосредственно на солнце; кроме того, фрукты в этом случае защищены от пыли, от заражения различными бактериями, от насекомых, от осадков, что повышает качество, сохранность и лежкость их.

При пользовании гелиосушилками продукты получают гораздо более высокого качества, чем при сушке на солнце или в специальных печах. Такие установки в настоящее время работают в районе Ташкента, Ашхабада, Топлиси и в других местах.

Если в горячий ящик закладывают руду серы, имеющую невысокую температуру плавления, то сера выплавляется из руды и получается чистый продукт.

Горячий ящик можно использовать для подогрева воздуха и подачи его в сушильни, для дистилляции и опреснения воды. В противень наливают соленую воду и накрывают наклонным стеклянным листом. Противень нагревается сильнее стекла. Пары воды конденсируются на стекле и стекают по нему в бачок. С 1 м<sup>2</sup> такого элементарного опреснителя за сутки и летнее время можно собрать около 2 л опресненной воды.

На принципе горячего ящика основан также обогрев солнечной энергией парников и теплиц. Для гелиотеплиц не требуется навоза на обогрев, не требуется топлива, резко уменьшаются капиталовложения при постройке.

В опытных гелиотеплицах, построенных в Самарканде, наблюдалось, что при понижении температуры воздуха до  $-14^{\circ}$  температура внутри них оставалась положительной. Резкие колебания температуры наружного воздуха лишь в малой степени отражались на колебаниях температуры внутри них. Гелиотеплицы могут быть использованы для выращивания в течение круглого года овощей, рассады разных культур и т. п.

Директор Донецкой овоще-картофельной опытной станции В. Игнатьев и агроном Д. Крылов поставили в своем хозяйстве широкие опыты по выращиванию ранних овощей — огурцов, помидоров в *легких весенних теплицах на солнечном обогреве*. Для этого делали каркасы, на которых укрепляли рамки, обтянутые полиэтиленовой пленкой. Такая пленочная защита обеспечивает устойчивость положительных температур ранней весной и снижает резкость повышения температуры во второй половине весны. Под пленкой продукцию можно собирать на 35—45 дней раньше, чем с открытого грунта. В 1964 г. урожай огурцов сорта Успех 221 составил с  $1 \text{ м}^2$  16,5 кг, а помидоров — 7,4 кг. Себестоимость килограмма огурцов была 17 коп.

Кроме солнечных теплиц, овоще-картофельная опытная станция и ряд других хозяйств Донецкой области практикуют выращивание ранних овощей под *легкими временными пленочными укрытиями*. Для этого над грядками через каждые 1,5 м ставят дуги из 5-миллиметровой проволоки, которые служат каркасом; его накрывают пленкой, под пленкой высаживают рассаду. Продукцию собирают в среднем на месяц раньше, чем в незащищенном грунте.

Временные укрытия и солнечные теплицы широко распространены в Донецкой области. Например, в колхозе имени XX съезда КПСС Артемовского района временные укрытия и солнечные теплицы применяются на площади свыше 40 тыс.  $\text{м}^2$ . Под пленку переведены многие овощные культуры: редис, лук на перо, щавель, земляника и др.

В совхозе «Ждановский» под пленкой выращивали огурцы на площади 0,5 га.

Всего по области под пленкой и временными пленочными укрытиями в 1964 г. было около 150 тыс.  $\text{м}^2$ .

Описанный опыт овощеводов Донецкой области по использованию солнечного обогрева заслуживает широкого внедрения.

## **6. Методы использования солнечной энергии с предварительной концентрацией ее**

Для усиления действия солнечных лучей применяют способ концентрации их зеркалами различного размера и формы. Зеркала могут быть металлическими или стеклянными, различной формы, например параболической. Собирая солнечные лучи в фокусе,

можно получить температуры, достаточные даже для плавления металлов и сварки. Если в такой фокус поместить сосуд с водой, то лучи, отраженные от поверхности зеркала, распределяются по нижней и боковой поверхности нагреваемого сосуда и быстро доведут воду до кипения.

Солнечную энергию можно превращать в электрический ток при помощи терморпар; большое количество их монтируется в виде батарей. Нагревание солнечными лучами одной серии спаев (четных или нечетных) создает в цепи электрический ток.

## **7. Использование солнечной энергии при помощи фотоэлементов**

Большое будущее имеет использование солнечной энергии для прямого получения электрического тока при помощи фотоэлементов, особенно полупроводниковых. Разработка теории полупроводников показала, что их с успехом можно использовать для прямого превращения тепловой и световой энергии в электрическую.

Имеются опытные телефонные линии, питание которых осуществляется кремниевыми батареями, установленными на телефонных столбах. Днем они не только питают линии током, но и заряжают небольшие аккумуляторы, обеспечивающие работу телефона в почтовые часы.

В связи с неограниченными возможностями, которые дает применение полупроводников, может быть намечена новая, огромная по техническому значению проблема прямого использования солнечной энергии.

Возможно, что будущая энергетическая система земного шара будет основана на широком применении полупроводников и трансформации ими тепла и солнечной энергии пояса пустынь.

## **8. Трудности при использовании прямой солнечной радиации**

Плотность потока лучистой энергии на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам, составляет не более 750—800 кал/м<sup>2</sup> час. Поэтому установки большой мощности должны быть соответственно большого размера, что понижает их рентабельность.

Ночью и в облачные дни подачи солнечной энергии нет; эта прерывистость для всякой энергетической машины крайне нежелательна, она усложняет конструкцию установки и ее работу.

Интенсивность солнечной энергии не остается постоянной, а изменяется в течение дня от часа к часу и в течение года от месяца к месяцу.

Теплопроводность различных почв

Составные части почвы	Теплопроводность
Подвой шпатель	0,0058
Палец стик	0,0019
Песок сухой	0,00026
Песок 20% влажности	0,00252
Суглинок	0,0044
Мел	0,0022
Вода	0,00130
Воздух	0,00005

Повышение влажности почвы (при малых значениях ее) влечет за собой резкое увеличение теплопроводности, так как наличие влаги в почве улучшает тепловой контакт между отдельными влажками и частицами почвы.

При сильном увлажнении теплопроводность почвы постепенно приближается к теплопроводности воды.

На теплопроводность почвы значительное влияние оказывает ее пористость. Так как теплопроводность воздуха очень мала, то с увеличением пористости теплопроводность почвы убывает.

Величина пористости в поверхностном слое почвы может изменяться в зависимости от его обработки. На теплопроводность почвы оказывает влияние также величина отдельных частичек почвы.

#### 4. Температуропроводность почвы

Важное значение имеет скорость передачи в глубь почвы температуры, например скорость передачи температуры  $0^\circ$ ,  $10^\circ$  или какой-либо другой. Решение различных производственных агрономических вопросов обычно основывается на знании распределения в почве именно температур, а не числа калорий.

Теплопроводность почвы (обозначим ее  $M$ ) показывает, сколько калорий тепла передается в единицу времени каждому кубическому сантиметру от соседнего слоя почвы. Объемная теплоемкость почвы (обозначим ее  $C_{об}$ ) показывает, сколько надо калорий, чтобы температуру данного кубического сантиметра почвы повысить на  $1^\circ$ . Частное от деления  $M$  на  $C_{об}$  показывает, на сколько градусов будет повышаться температура соседнего слоя почвы в единицу времени в результате притока тепла, равного  $M$ , т. е. скорость передачи температуры в глубь почвы.

Таким образом, температуропроводность почвы ( $K$ ) определяется формулой:

$$K = \frac{M}{C_{об}}$$

На величину  $K$  оказывают влияние те же факторы, которые влияют на  $M$  и  $C_{об}$ .

В качестве примера значений  $K$  приведем значения коэффициентов температуропроводности южного чернозема, полученных А. Н. Гундо при исследовании образцов почвы в лабораторных условиях (табл. 25).

Таблица 25

Коэффициент температуропроводности  $K$  для южного чернозема при различной влажности и плотности

Влажность (в %)	Значения плотности				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0	0,0012	0,0013	0,0015	0,0016	0,0017
4	13	15	16	17	17
10	23	26	27	30	—
20	33	35	38	41	43
25	31	33	35	37	39

Максимальных значений  $K$  достигает при влажности почвы 18—20%.

Из сказанного о тепловых свойствах почвы вытекает, что различные почвы имеют различный температурный режим. Это подтверждают, например, наблюдения Н. А. Курмангалдина (табл. 26).

Таблица 26

Распределение температуры в различных почвах

Род почвы	Глубина (в см)			
	5	10	15	20
Минеральная	15,3	13,2	12,1	10,8
Торфо-болотная	11,1	10,1	9,0	8,3
Разность	4,2	3,1	3,1	2,5

Таблица показывает, что состав почвы оказывает существенное влияние на ее температурный режим.

## 5. Методы измерения температуры почвы

Чтобы измерить температуру поверхности почвы, на нее кладут термометры — ртутный, максимальный и минимальный; по всей длине они должны быть наполовину вжаты в почву. Измерение сводится к отсчетам показаний термометров в установленные сроки. Такой метод выкладки термометров и измерения общепринят. Однако его нельзя признать совершенным, так как на термометр, положенный на почву, воздействует не только почва, но и воздух и солнечная радиация. Поэтому показания термометра не вполне характеризуют температуру поверхности почвы; более точно измерить ее можно электрическими приборами (термопары, термометры сопротивления).

**Походные измерения.** Для походных измерений температуры почвы на небольших глубинах применяется термометр аспирационного психрометра. Термометр (рис. 31) заключен в трубку-оправу с вырезом, через который видно шкаду термометра. Конец оправы медный, заостренный, длиной 1 см; он заполнен медными опилками, в которые входит резервуар термометра. Вследствие этого термометр в оправе имеет значительную тепловую инерцию. Изменения температуры окружающей среды сначала воздействуют на медный наконечник, затем на опилки и только после этого на самый термометр. Поэтому такой термометр в оправе, помещенный в почву, не сразу воспринимает ее температуру; приходится некоторое время подождать, затем вынуть термометр из почвы и отсчитать его показания без боязни, что они быстро изменятся под воздействием солнечной радиации или температуры воздуха.

Если оправка металлическая, то между ней и наконечником, в который заложен резервуар термометра, должно быть вставлено кольцо из эбонита, пластмассы или из другого материала, плохо проводящего тепло.

На оправе нанесены сантиметровые деления; они дают возможность поместить термометр до точно заданной глубины. Длина такого походного термометра 35 см.

Инерция прибора должна быть изучена заранее опытным путем.

**Походные измерения температуры почвы на глубинах, больших 20 см.** Для походных измерений температуры почвы в летний период на глубинах, больших 20 см, пользуются термометром, помещенным в массивную, заостренную снизу металлическую оправу, укрепленную на палке. Конец оправы отделен

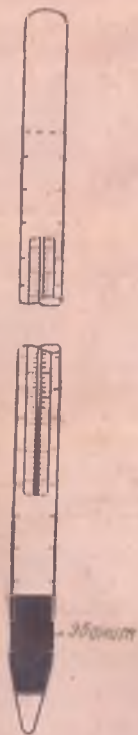


Рис. 31. Термометр для походных измерений.

термоизоляционным кольцом от остальной части трубки. На другой конце палки имеется поперечная ручка, нажимая на которую сверху вниз и слегка вращая ее в ту или другую сторону, можно довести термометр до заданной глубины и затем определить температуру почвы.

**Походные измерения в зимнее время.** Гораздо труднее провести обследование температуры почвы в зимние месяцы, когда поверхностный слой почвы замора и земля покрыта снегом. Между тем в этот период особое значение имеет, например, температура почвы на глубине улаа кущения, т. е. на глубине 3—5 см; она определяет условия зимовки культуры.

Для зимних походных измерений термометр в оправе следует укрепить на палке; нижний конец оправы должен быть отделен теплоизоляционным кольцом от остальной части трубки. Углубление в почве до заданной глубины делают специальным буром. Бур устроен в виде трубки с наклонным пожом на конце, вращенная пожом земля входит в трубку.

Доведя бур до заданной глубины, его вынимают и в образовавшемся углублении вставляют термометр. По истечении некоторого промежутка времени термометр вынимают и отсчитывают его показание; повторное измерение служит контролем. *Важное значение имеет метода измерения температуры состоит в том, что снежный покров остается в ненарушенном состоянии и распределение температур вокруг места измерения не изменяется.*

Диаметр бура равен диаметру оправы термометра. Поэтому термометр, вставленный в углубление в почве, выжимает оттуда воздух.

Вращенная земля, вошедшая внутрь бура, может показать глубину промерзания почвы. Для этой цели в боковой стенке трубки делают открываемую щель. Промерзшая почва содержит в себе кристаллы льда, хорошо видимые глазом. Поэтому бур описанной конструкции является хорошим измерителем глубины промерзания почвы — мерло-томером.

**Походный термометр с осветителем.** Для походных измерений температуры почвы на небольших глубинах может служить разработанный автором термометр с осветителем шкалы. Осветитель дает возможность отсчитывать показание термометра, не вынимая его из почвы, и также вести наблюдения в ночное время и выяснить, например, суточный ход температуры почвы зимой и летом. Схема прибора показана на рисунке 32. Параллельно трубке, на конце которой укреплен

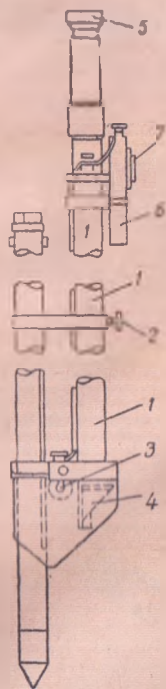


Рис. 32. Термометр для походных измерений с осветителем.





Рис. 33. Ко-  
леничатый  
термометр.

в оправе термометр, расположена трубка 1, которую можно перемещать вверх и вниз при помощи кремальеры 2. На нижнем конце трубки 1 находится лампочка 3, освещающая шкалу термометра, и призма 4, отражающая изображение шкалы в окуляр 5. Сбоку закреплена электробатарейка 6 и кнопка 7 для включения лампочки. К прибору прилагается соответствующего размера бур.

Термометр помещают в почву, предварительно сделав в ней углубление буром. Трубку 1 перемещают по вертикали до тех пор, пока конец ртутного столбика термометра с небольшим участком шкалы, отраженной призмой 4, не окажется в поле зрения окуляра 5; после этого проводят отсчет термометра.

**Стационарные измерения.** Для стационарных измерений температуры почвы в летнее время до глубины 20 см применяют коленичатый термометр. Он отличается от обычного тем, что резервуар его значительно удален от шкалы и поставлен под тупым углом по отношению к ней (рис. 33).

Для установки такого термометра в почве выкапывают углубление. Затем в вертикальной стенке на заданной глубине делают горизонтальное углубление и в него вставляют резервуар термометра. После этого все углубление засыпают вынутой при копке землей. Под выступивший из почвы конец термометра для прочности установки подводят две связанные рогадкой подпорки.

Недостаток этого метода в том, что землю приходится перекапывать; при этом в известной мере изменяется ее плотность, структура и тепловые свойства, что влияет на показание термометра. Кроме того, в зимние месяцы такие термометры раздавливаются замерзшей почвой.

Для стационарных измерений температуры почвы на больших глубинах применяют так называемые вытяжные или глубинные термометры.

В почву до нужной глубины закапывают вертикально пластмассовую трубку с медным дном; внутрь нее вставляют палку, на конце которой закреплен термометр в оправе.

Резервуар термометра засыпан медными опилками. В срок наблюдения термометр вынимают, отсчитывают его показание и снова опускают в трубку.

Обычно устанавливают несколько термометров на разных глубинах (рис. 34).

**Дистанционные методы измерения температуры почвы.** Термометры. Для измерения температуры почвы могут служить термопары, а также термометры сопротивления.

Один из спаев термопары помещают в дьюаровский сосуд с водой; температуру внутри него измеряют обычным термометром. Вместо дьюаровского сосуда можно воспользоваться коробкой, обитой медными опилками, имеющей большую тепловую инерцию; в опилки вставляют термометр. Таким образом, температура одного спаев является постоянной и известной.

Второй спай сделан в виде иглы или небольшого диска; им прикасаются к предмету, температуру которого требуется измерить, например к поверхности листа, поверхности почвы и пр.

В цепи термопары введен чувствительный гальванометр, вследствие разности температур спаев в цепи возникает ток; чем больше разность температур, тем больше сила тока.

Термоспай имеет очень малый объем, поэтому точно фиксирует место, где измеряется температура.

Агрофизический институт изготовляет «термоспай» — прибор, в котором монтируется несколько термопар. Если этот прибор поместить на поверхность почвы, то к ней в нескольких местах одновременно прикасаются отдельные термоспаи. Гальванометр показывает некоторую усредненную температуру.

**Дистанционные методы измерения температуры почвы.** Для измерения температуры почвы применяют также электротермометры сопротивления.

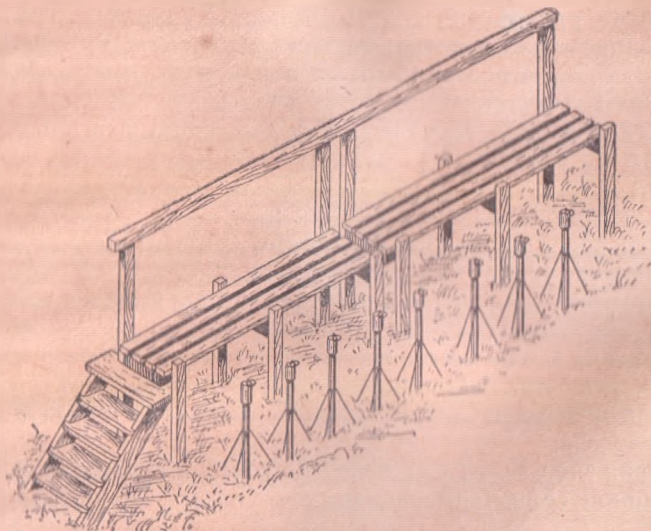


Рис. 34. Установка глубинных термометров.

При изменении температуры в небольших пределах сопротивление чистых металлов изменяется почти линейно; температурный коэффициент сопротивления приблизительно равен температурному коэффициенту расширения газов, т. е. при повышении температуры на  $1^\circ$  сопротивление увеличивается приблизительно на 0,004 своего значения при  $0^\circ$ .

Для обеспечения точности показаний электрического термометра сопротивления необходимо, чтобы проволока, которая служит приемником, была однородна по химическому составу, обладала постоянными физическими свойствами. Для этого пользуются платиновой проволокой диаметром 0,03—0,04 мм; она наматывается на кварцевую трубку и снаружи также защищена кварцевой трубкой. Измерение температуры сводится к измерению сопротивления платиновой спирали, которая включается в одну из ветвей моста Уитстона.

Неудобство термометра сопротивления в том, что приемник температуры имеет значительный объем<sup>1</sup>.

В Агрофизическом институте разработана серия приборов с применением полупроводников. сконструирован полупроводниковый электротермометр, предназначенный для измерения температуры зерна в хранилищах, температуры почвы, температуры различных частей растений и кожи животных и для других целей.

## 6. Тепловой баланс почвы

Тепловой баланс почвы в каждый данный момент определяется результатом ряда физических процессов, из которых одни увеличивают запас тепла в почве, другие уменьшают. Тепловой баланс почвы не остается постоянным, он непрерывно изменяется — возрастает или убывает.

Земная поверхность может получать энергию в виде:

1) прямой солнечной радиации; будем сокращенно обозначать ее Солн.;

2) рассеянной радиации — Расс.;

3) встречного излучения атмосферы — Атм.;

4) притока тепла от более глубоких слоев почвы — Почв.;

5) скрытой теплоты парообразования, выделяющейся при конденсации водяных паров в почве — Конд.;

6) притока тепла, выделяющегося в результате распада радиоактивных веществ, находящихся в земной коре, — Рад.

Земная поверхность может терять тепло в результате следующих процессов:

1) отражение части падающей на земную поверхность прямой и рассеянной солнечной радиации — Отр.;

<sup>1</sup> Техническое описание электротермометра можно найти в «Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам».

- 2) расход тепла на испарение с поверхности земли — Исп.;
  - 3) расход тепла на нагревание прилегающих слоев воздуха, в результате которого в атмосфере образуются конвективные токи, турбулентное перемешивание и перенос тепла, — Турб.;
  - 4) часть тепла передается в глубину почвы — Глуб.;
  - 5) излучение тепла в виде длинноволновой радиации — Изл.
- Таким образом, приход тепла к земной поверхности может быть изображен следующей формулой:

$$\text{Приход} = \text{Солн.} + \text{Расс.} + \text{Атм.} + \text{Почв.} + \text{Конд.} + \text{Рад.}$$

Расход тепловой энергии земной поверхностью может быть изображен так:

$$\text{Расход} = \text{Отр.} + \text{Исп.} + \text{Турб.} + \text{Глуб.} + \text{Изл.}$$

Разность величин *Приход* — *Расход* определит для данного момента *тепловой баланс почвы*.

Каждый из слагаемых этого баланса характеризует известный физический процесс. Все они происходит не отдельно, а в непрерывной связи, сопровождаются взаимным ослаблением или усилением, поэтому и конечный результат этих процессов — тепловой баланс почвы — также не может быть постоянным.

Отдельные слагаемые этого баланса непрерывно изменяются: то усиливаются, то ослабевают и исчезают, то вновь появляются. Так, прямая и рассеянная солнечные радиации наблюдаются только в дневные часы; ночью их нет. В связи с этим отраженная радиация также имеется только в дневные часы.

Подача тепла, связанная с распадом радиоактивных веществ, происходит непрерывно; однако она имеет только местное значение.

Тепловой поток в почве может менять знак, т. е. может быть направлен то в глубину почвы — *Глуб.*, то, наоборот, из глубины почвы к ее поверхности — *Почв.*

Потери тепла на испарение воды с поверхности почвы может сместиться при конденсации водяных паров в почве приходом скрытой теплоты парообразования.

В летний день тепловой баланс почвы положительный — температура почвы повышается. В ночные часы тепловой баланс отрицательный — температура почвы понижается.

На тепловой баланс данного участка земной поверхности большое влияние оказывает рельеф местности.

## 7. Источники тепла, заложенные в земной коре

В разных областях Советского Союза имеются источники подземного тепла, подогревающие поверхностные слои почвы, выбрасывающие большие количества горячей воды и водяного пара.



Рис. 35. Геотермическая электростанция.

По мере углубления (от земной поверхности) температура горных пород непрерывно возрастает. Это объясняется тем, что в недрах земли имеются очаги необычайно высоких температур, возникшие в результате распада радиоактивных элементов, главным образом урана и тория. Тепловые потоки во многих местах Советского Союза выходят в самые верхние слои земной коры и оказывают большое влияние на тепловой режим почвы.

По побережью Тихого океана проходит пояс действующих и потухших вулканов; на Курильских островах и на Камчатке их насчитывается более 200, в том числе около 60 действующих. Сквозь трещины в земной коре пробиваются гейзеры, горячие пары и источники горячей воды; температура некоторых из них достигает  $120^{\circ}$ .

На Камчатке, Курильских островах, на Сахалине на курорте Талов — Магадан тепло горячих источников используют для отопления парников, теплиц, домов, бань и прачечных. Прогреваемые участки земли используют под огороды.

Экспедиция АН СССР под руководством акад. М. А. Лаврентьева отметила, что на Камчатке и на Курильских островах во многих местах возможно создание крупных тепличных и парниковых хозяйств. Тепличные хозяйства могут быть созданы, в частности, на базе Паратунских, Начикинских и Паужетских горячих источников.

В настоящее время на Паужетских источниках построена первая в стране геотермическая электростанция мощностью 400 квт. Она начала работать 31 марта 1965 г. Общий вид ее показан на рисунке 35.

Таких мест, где на поверхности земли обнаруживаются большие запасы подземной теплоты, в СССР очень много. Они имеются в Забайкалье, Западной Сибири, Краснодарском и Ставропольском краях, Дагестанской АССР, на Кавказе и во многих других местах.

На территории Западной Сибири обнаружено настоящее подземное горячее море площадью около 3 млн. км<sup>2</sup>. В Казахстане, близ города Чимкента, скважина, пробуренная до глубины 1000 м,

дела воду с температурой до 90°. Подобные же бассейны горячей воды обнаружены в Актюбинской области и Талды-Курганском районе Алма-Атинской области, в Илийской впадине.

В Московской области на глубине около 150 м имеется море воды с температурой до 75°.

Следует особо отметить, что все подземные источники содержат вод. бром, серу, углекислоту, бор, литий, гелий и многие другие ценные элементы.

Источники земного тепла заложены повсеместно в СССР и в других странах мира, например в Северной Италии, Исландии, Америке. В Исландии почти вся энергетика страны основывается на земном тепле. Многочисленные парники, обогреваемые горячей водой, дают исландцам овощи и фрукты круглый год. Столица Исландии Рейкьявик полностью переведена на отопление паром и горячей водой, получаемой из недр земли. В Италии созданы крупные геотермические электростанции общей мощностью свыше 300 тыс. квт.

Приведенные примеры показывают, что запасы тепла земных недр огромны; они имеются во многих местах земли, хотя и на разной глубине. Раньше они были малодоступны. В настоящее время техника бурения настолько совершенна, что они могут быть использованы. Они дадут возможность широкой постановки овощеводства и плодородства защищенного грунта, что особенно важно и северных районах страны, а также повсеместно в зимнее время; возможность углубления слоя ограждающего грунта в районах вечной мерзлоты. Эти безграничные запасы тепла будут использованы для отопления городов, нужд промышленности, получения различных химических элементов, обогрева парников, теплиц, ферм, для экономии нефти и угля.

## 8. Температурный режим поверхностного слоя почвы

Воздействие солнечной радиации на каждое место земной поверхности происходит периодически, в соответствии с движением Земли вокруг своей оси и по орбите вокруг Солнца. Это воздействие имеет *суточный и годовой периоды*. В обоих случаях кривая хода температуры поверхности почвы имеет один максимум и один минимум. В суточном ходе температуры максимум приходится на дневное время (около 13 часов), минимум — перед восходом солнца. В годовом ходе максимум температуры почвы приходится на июль; минимум наблюдается в январе.

В обоих случаях, т. е. в суточном и годовом ходе температуры, кривая хода имеет вид довольно правильной волны, похожей на синусоиду. Разность между максимальным и минимальным значением есть *амплитуда* суточного или соответственно годового колебания температуры почвы.

Амплитуда суточных колебаний температуры поверхности почвы достигает наибольших значений в летнее время в континентальном климате. Величина наблюдаемых наибольших и наименьших значений температуры почвы зависит от многих факторов: географического положения и климатических условий данной местности, хода погоды, состава почвы, ее влажности, характера растительного или снежного покрова и других условий.

В Одессе в летние дни температура почвы при естественном покрове высушенной редкой травы может достигать  $74^{\circ}$ , а при оголенной поверхности —  $62^{\circ}$ . Причина этой разницы заключается в том, что высушенная редкая трава, не мешая в достаточной степени проникновению к почве солнечных лучей, существенно затрудняет движение воздушных масс у поверхности почвы и мешает вентиляции приземного слоя воздуха.

В Тбилиси на поверхности почвы абсолютный максимум температуры достигает  $66^{\circ}$ , а минимум —  $14^{\circ}$ . Следовательно, амплитуда крайних значений температуры на поверхности почвы достигает  $80^{\circ}$ .

В заключение следует отметить, что некоторое количество тепла поступает в почву при конденсации водяного пара.

## 9. Замерзание и оттаивание почвы

При  $0^{\circ}$  почва не замерзает и сохраняет все свои физические свойства, как и при положительных температурах.

Так как вода в почве представляет собой раствор различных солей и кислот, то замерзает она при температурах, более низких, чем  $0^{\circ}$ . Температура замерзания определяется составом раствора и концентрацией солей: чем больше концентрация раствора, тем ниже температура замерзания почвы. Она может достигать  $-2^{\circ}$  и ниже.

При замерзании почва изменяет свои физические свойства: становится твердой, меняет цвет. Внутри нее видны мелкие кристаллы льда; электросопротивление резко возрастает.

Толщину замерзшего слоя почвы измеряют мерзлотомером Данилина. В вертикально вкопанную в землю трубку-футляр опускают резиновую трубку с водой и о толщине замерзшего слоя почвы судят по длине столбика воды, замерзшей в трубке. Очевидно, такие измерения не могут быть точными. Вода в почве представляет собой раствор солей, имеющий иную точку замерзания, чем вода в трубке. Допускаемая при этом ошибка не постоянна.

Для действительного и точного определения глубины промерзания почвы необходимо брать пробы почвы буром, забирающим пробу внутрь.

Глубина промерзания почвы в большой степени зависит от рельефа. Возвышенный участок почвы промерзает глубже; наобо-

рот, впадина, в которой лучше задерживается снег, промерзает гораздо меньше. Ровное место по глубине промерзания является промежуточным.

В начале зимы при отсутствии снежного покрова почва начинает замерзать. Дальнейший ход этого процесса зависит от наступления больших морозов, которые усиливают промерзание, и от нарастания снежного покрова, который замедляет промерзание. Таким образом, фактический ход промерзания почвы зависит от течения погоды.

Замерзание почвы всегда сопровождается поднятием ее, так как лед занимает больший объем, чем вода, из которой он образовался; смещение поверхности почвы на паровом поле за зиму может достигать 2—4 см, в зависимости от содержания воды в почве, глубины ее промерзания и степени рыхлости почвы.

Многочисленное поднятие почвы при замерзании, а также опускание ее при оттепели приводит к вымиранию растений и к отрыву корневой системы от наземной части растения.

К весне высота снежного покрова нарастает, а морозы ослабевают, поэтому промерзание почвы прекращается; наоборот, происходит оттаивание ее за счет тепла более глубоких слоев почвы; оно может дойти до поверхности.

Если же снежный покров сошел, то оттаивание почвы может идти одновременно снизу и сверху.

## 10. Передача температурных колебаний в глубину почвы

Суточные и годовые колебания температуры поверхности почвы передаются вглубь.

Если почва однородная, то передача температурных колебаний совершается по следующим законам.

1. *Период колебаний на всех глубинах остается неизменным.* Это значит, что суточные колебания на всех глубинах остаются суточными, годовые — годовыми.

2. *Время наступления максимальных и минимальных температур запаздывает пропорционально глубинам.* Иллюстрацией этого закона может служить таблица 27.

По данным таблицы, передача температурных колебаний в глубину почвы совершается очень медленно. На передачу до глубины 20 см требуется 5—7 часов. Поэтому с глубиной и происходит запаздывание моментов наступления максимальных и минимальных значений. Запаздывание идет пропорционально глубинам. Это значит, что если составить график моментов наступления с глубиной, например, максимальных температур, то все точки расположатся на прямой линии. Зная значения времени для любых двух глубин, легко можно рассчитать их для любых промежуточных глубин.



Время наступления максимальных и минимальных температур

Глубина (в см)	Минимум	Максимум	Амплитуда температурных колебаний
<b>П у к у с (близ Аральского моря, пустыня)</b>			
Поверхность почвы	4 ч. 20 м.	12 ч. 45 м.	40°,3
5	5 ч. 30 м.	16 ч. 30 м.	15°,3
10	6 ч. 25 м.	18 ч. 10 м.	11°,1
20	9 ч. 36 м.	20 ч. 35 м.	5°,0
<b>Л е н и н г р а д</b>			
Поверхность почвы	3 ч. 24 м.	13 ч. 12 м.	14°,3
20	8 ч. 06 м.	18 ч. 12 м.	2°,7
40	12 ч. 48 м.	23 ч. 42 м.	1°,0
80	19 ч. 00 м.	7 ч. 00 м.	0°,2

Иллюстрацией приведенного закона может служить также распределение температуры в слое почвы от 40 до 320 см, данное для Одессы проф. А. В. Клоссовским (табл. 28).

Таблица 28

Распределение температуры в почве

Глубина (в см)	40	80	100	200	250	320
	температура (в °)					
Дата						
15/I	0,6	2,8	6,6	8,3	9,7	11,8
15/VII	20,8	19,1	16,4	15,0	13,3	12,2
15/IV	7,8	7,2	6,0	6,2	6,6	8,1
15/X	11,8	14,9	17,0	17,0	16,3	15,2

График, составленный по данным этой таблицы, показан на рисунке 36.

Кривые показывают, что летом (15/VII) земная поверхность сильно нагрета. Температура с глубиной непрерывно понижается; рост падения температуры с глубиной на единицу расстояния замедляется. Такой тип распределения температуры называется *инсоляционным*.

Зимой (15/I) температура почвы с глубиной непрерывно повышается. Такой тип распределения температуры возникает вследствие сильного охлаждения поверхностного слоя почвы и называется *радиационным* типом излучения.

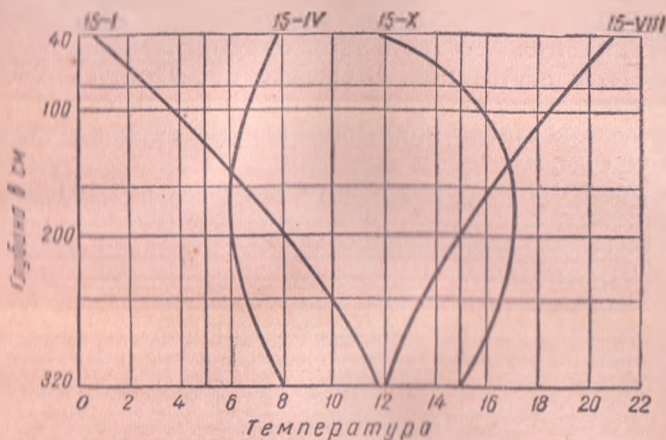


Рис. 36. Распределение температуры в почве.

Весной (15/IV) кривая имеет выпуклость в сторону низких температур. Более холодный слой лежит между двумя более теплыми слоями. Это происходит потому, что зимний тип распределения температуры под влиянием начавшегося нагревания поверхности почвы постепенно переходит в летний. К 15/IV верхняя часть кривой сместилась в область с более высокими температурами. Однако воздействие нагретого поверхностного слоя вследствие затухания еще не достигло нижней части слоя, в котором сохранился зимний тип — возрастание температуры с глубиной.

В результате в средней части слоя почвы температура оказалась ниже, чем в поверхностном слое.

Осенью (15/X) наблюдается обратное распределение температуры: более теплый слой почвы лежит между двумя более холодными слоями, выпуклость кривой направлена в сторону более высоких температур. Внизу еще сохранился летний тип, тогда как верхние слои уже начали охлаждаться и распределение температуры в них переходит к зимнему типу.

Так происходит переход от летнего инсоляционного типа распределения температуры к зимнему типу излучения, или радиации.

3. Третий закон в упрощенной формулировке гласит: *если глубины увеличиваются в арифметической прогрессии, то амплитуды температурных колебаний уменьшаются в геометрической прогрессии*. Закон показывает, что если на какой-то глубине амплитуда уменьшилась в два раза, то на глубине в два раза большей амплитуда уменьшится в четыре раза и т. д. Это значит, что амплитуды с глубиной затухают быстро. В этом можно убедиться, рассматривая данные таблицы 28.

На глубине 80 см амплитуда температурных колебаний равна 0°, т. е. на этой глубине в течение суток температура практически остается постоянной. В среднем можно принять, что глубина проникновения суточных колебаний температуры равна 1 м.

Приведенные законы применимы как для суточных колебаний, так и для годовых.

Из теоретических формул, которые лежат в основе этих рассуждений, выводится еще одно следствие: *глубины постоянной и годовой температуры относятся как корни квадратные из периодов колебаний.*

Если период суточного колебания обозначим 1, то период годового колебания будет равен 365. Если принять во внимание, что глубина проникновения суточного колебания равна 1 м, то можно написать:

$$H : 1 = \sqrt{365} : 1,$$

где  $H$  — глубина проникновения годовых колебаний. Из этой пропорции вытекает, что  $H = 19$  м, т. е. годовые колебания проникают до глубины 19 м. Приведенные числа ориентировочны. Они пригодны только для средних географических широт.

Проф. Э. Е. Лейст указывает, что на экваторе нет годового колебания температуры почвы, есть только суточное. В полярных странах, наоборот, суточное изменение температуры очень мало и суточные колебания распространяются до небольших глубин; годовое же колебание температуры в Северо-Восточной Азии местами достигает 65° и проникает на большую глубину. Поэтому приведенные законы могут иметь лишь ограниченное, ориентировочное значение для средних широт.

Следует отметить, что законы передачи температурных колебаний в глубь однородного слоя почвы основаны на предположении, что температурное колебание на поверхности почвы имеет характер правильной волны и что почва вполне однородна. На самом деле такие условия бывают не всегда. Кроме того, правильность передачи температурных колебаний нарушается выпадающими и проникающими в почву осадками, испарением, скрытой теплотой, выделяющейся при конденсации, а также при замерзании почвы, конвекцией воздуха и особенно наличием поверхностного покрова.

## 11. Термоизоплоты

Каждое поле в зависимости от наклона, ориентировки, химико-минералогического состава, структуры почвы, влажности, снегозалегаания и других факторов имеет свой собственный температурный режим. Агроном должен знать режим температуры и влажности каждого поля. От этого зависит обоснованное распре-

деление культур по полям, методы и сроки обработки почвы и полевых работ

Чтобы изучить температурный режим почвы, можно заложить на пашном поле серию глубинных термометров или ограничиться двумя термометрами и в течение длительного промежутка времени вести наблюдения; затем, пользуясь законами передачи тепла в глубь почвы, определить температуропроводность почвы и рассчитать для каждой заданной глубины колебания температуры.

Более точные результаты дает первый прием, но он требует значительно большего оборудования и рабочей силы.

На основании результатов наблюдений составляется график, называемый изоплетами температуры почвы. Особенность такого графика заключается в том, что он связывает три переменные величины: глубину, время и температуру (рис. 37). На графике по горизонтали нанесены месяцы года, по вертикали — глубины в метрах и, наконец, проведены линии разных температур — изотермы. Около изотерм поставлены соответствующие значения температуры. На рисунке значения температур даны через  $5^\circ$ .

Общий вид графика изоплет, расположение изотерм показывают температурный режим слоя почвы в данном месте, характер его нагревания и охлаждения.

Изоплеты могут иметь разнообразное производственное применение. Пользуясь графиком термоизоплет, можно ответить, например, на следующие вопросы.

1. Как распределяется температура почвы с глубиной в любом месяце, например в июле?

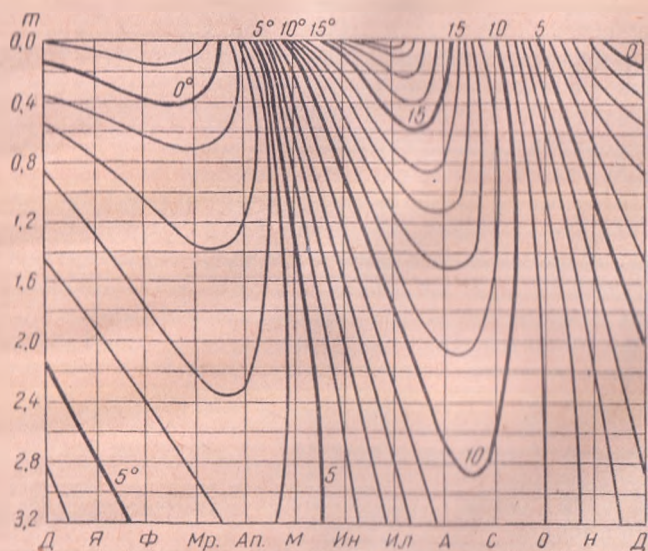


Рис. 37. Термоизоплеты.

разных глубинах под культурой и на участке, не покрытом растительностью, показали, что почва непокрытого участка прогревается значительно сильнее и глубже, чем слой почвы, покрытой растительностью (рис. 38). Разница температур участка, покрытого растительностью и не покрытого, зависит от характера растительности, свойств почвы, от глубины, а также от характера течения погоды и климата местности.

### 13. Влияние леса на температуру почвы

Лесной полог также является действительной поверхностью. Он принимает солнечное тепло и только частично пропускает его до земной поверхности. В то же время лесной полог затрудняет потерю тепла земной поверхностью путем излучения. В результате земная поверхность, покрытая лесом, имеет в летний период более низкую температуру, чем поверхность почвы открытых полей; в зимний период соотношение температур обратное: температура почвы в лесу выше температуры почвы поля.

Среднегодовая температура поверхности почвы, а также амплитуда годовых колебаний в лесу несколько ниже, чем на поле.

Если насаждения густые, до земной поверхности прямая солнечная радиация вообще не доходит, а доходит только часть радиации, отраженной от листьев, радиация, получаемая листьями, а также часть радиации, прошедшей через листву. Наблюдения показали, что в слое почвы толщиной 1 м в летнее время под покровом буковых, еловых и сосновых насаждений температура приблизительно на 3° ниже, чем в поле. В зимнее время почва в лесу теплее на несколько десятых градуса. Среднегодовая температура почвы в лесу в слое до 1 м приблизительно на 1° ниже, чем в поле.

В условиях континентального климата влияние леса сказывается сильнее. В Боровом (Кокчетанская обл.) в старых сосновых лесах в летнее время разность температур почвы в поле и в лесу в метровом слое может достигать 7°. В зимнее время разность меньше; в лесу почва теплее приблизительно на 0°, 5. Как следствие, в зимнее время почва в лесу промерзает на меньшую глубину, чем в поле. В Боровом эта разность глубин промерзания составляет приблизительно 10 см: промерзание почвы в лесу достигает 105 см, в поле 115 см.

Вырубка леса выравнивает температуру почвы, которая ранее была занята лесом, с температурой почвы в поле.

Наблюдения в Лесном (около Ленинграда) показали, что разность температур поверхности почвы на открытой площадке в лесу под пологом еловых и дубовых насаждений может достигать 10°, а на глубине 40 см — 3°.

На температурный режим почвы в лесу большое влияние оказывают подстилка и снежный покров, который бывает здесь выше, чем в поле.

Подстилка состоит из отмерших органических остатков листьев, хвои, мелких веток, семян и пр.; она представляет собой неплотное покрытие почвы с некоторым содержанием воздуха и имеет меньшую теплопроводность, чем почва. В ночные часы охлаждение подстилки вследствие ночного излучения может быть больше, чем охлаждение соседних непокрытых участков почвы. Ночное охлаждение подстилки ослабевает с распусканием листьев и образованием кроны, которые затрудняют излучение. Подстилка тормозит не только охлаждение почвы, но и ее нагревание.

Таким образом, в лесу в летнее время кроны деревьев и подстилка, а в зимнее время еще и снежный покров уменьшают колебания температуры поверхностного слоя почвы, затрудняют нагревание и охлаждение его и уменьшают амплитуду температурных колебаний по сравнению с амплитудой температуры на поле.

Фактическое распределение температур в почве, покрытой лесом, неустойчиво; оно зависит от состава насаждения, его возраста, густоты, толщины подстилки, удаленности от края леса, состава почвы, содержания в ней влаги, течения погоды и других условий.

Поэтому стандарта распределения температуры почвы в лесу дать нельзя. Необходимо основываться на результатах текущих измерений в каждом данном месте. Можно сделать лишь общий вывод, что *лес оказывает существенное влияние на температуру почвы, а летние месяцы температура почвы в лесу ниже, чем в поле, а зимние месяцы выше. Амплитуды колебаний температуры почвы в лесу меньше, чем в поле.*

#### 14. Влияние на температуру почвы снежного покрова

На температуру почвы в зимнее время большое влияние оказывает снежный покров. Теплопроводность снега очень мала и зависит главным образом от количества содержащегося в нем воздуха. Поэтому слежавшийся снег характеризуется *большой* теплопроводностью, чем свежеснежный (табл. 30).

Из таблицы видно, что увеличение плотности снега влечет за собой резкое возрастание его теплопроводности; вначале она нарастает медленно, затем рост ускоряется, теплоизоляционные свойства снега ослабевают.

В качестве примера влияния снежного покрова на температуру почвы можно привести значения среднемесячных температур января для двух участков почвы: покрытого снегом толщиной 30—40 см и для непокрытого (по данным Г. А. Любославского).

Т а б л и ц а 30

Теплопроводность снега в зависимости от его плотности (по Абелю)

Плотность снега	Коэффициент теплопроводности (в кал/см <sup>2</sup> ·мин)
0,05	0,001
0,1	0,004
0,2	0,016
0,3	0,036
0,4	0,065
0,5	0,102
0,9 (лед)	0,329

Разности температур оказались очень большие, особенно если принять в расчет, что это величины среднемесячные.

Если же взять отдельные измерения, то среди них можно найти разности гораздо большие. Например, в один из дней на поверхности снега наблюдалась температура  $-39^{\circ},2$ , в то же время на поверхности почвы под снегом температура была  $-3^{\circ},2$ ; разность температур  $36^{\circ},0$ .

Т а б л и ц а 31

Влияние снежного покрова на температуру почвы

Глубина (в см)	0	20	40	80
	Поверхность участка	температура почвы		
Под снегом	$-2,0$	$0,2$	$0,8$	$1,7$
Не покрытой снегом	$-16,6$	$-14,1$	$-10,6$	$-3,8$
Разность	$14,6$	$14,3$	$11,4$	$5,5$

Если культуру подвергнуть действию температуры  $-39^{\circ},2$ , то, как правило, растения будут вымерзать. Температура же  $-3^{\circ},2$  не только не вредна, но и полезна озимым культурам.

Суточный ход температуры в снежном покрове распространяется примерно до глубины 30—40 см; при этом амплитуда суточных колебаний быстро убывает. Если на поверхности снега наблюдается амплитуда температуры  $30^{\circ}$ , то на глубине 5 см она уменьшается почти вдвое и равна  $16^{\circ}$ , а на глубине 24 см амплитуда не достигает  $3^{\circ}$ , т. е. уменьшается более чем в десять раз.

Приведенные данные показывают исключительные термоизоляционные свойства снежного покрова. Слой снега даже небольшой

толщины (около 10 см) сильно влияет на условия зимовки растений. Кроме того, снег предохраняет почвы от глубокого промерзания; неглубоко замерзшая земля скорее оттаивает.

Под влиянием растительного покрова летом и снежного покрова зимой годовая амплитуда температуры почвы уменьшается. При положительных температурах воздуха влияние снега на температуру почвы обратное: снег не дает почве прогреваться. Это используют, например, чтобы несколько задержать вегетацию плодовых, отодвинуть сроки их цветения и вывести из-под губительного действия весенних заморозков. Для этого снег собирают на приствольные круги деревьев и уплотняют его.

Задержка в прогревании почвы продолжается еще некоторое время и после оттаивания снега, так как верхний слой почвы оказывается пропитанным холодной водой. Поверхность снега не может нагреться выше  $0^{\circ}$ ; этим замедляется повышение температуры воздуха.

Пока температура воздуха ниже  $0^{\circ}$ , снег от действия прямых солнечных лучей почти не тает. Массовое таяние снега всегда зависит от притока теплого воздуха. Без этого даже в ясные дни май и начала июня в высоких широтах при незаходящем солнце температура остается ниже  $0^{\circ}$ . В горных областях снег на обширных горных склонах настолько охлаждает прилегающие слои воздуха, что по вертикальному направлению в атмосфере создается неустойчивое равновесие и холодные массы низвергаются сверху вниз. Такова одна из причин возникновения в районе Поворосинска «боры» — мощных обвалов холодного воздуха, вызываемых *высоким давлением к северу от западной части Кавказского хребта* и охлаждающим действием снега, лежащего на вершинах хребта.

Таким образом, снег оказывает большое влияние на климат местности.

Снежный покров представляет собой запас воды, который в весеннее время будет поступать на поля дополнительно к выпадающим осадкам; он важен еще и потому, что высоту его в известных пределах можно регулировать, применяя снегозадержание или снегогонку; этими приемами можно влиять на температурный и водный режим почвы.

## 15. Искусственная снегогонка

На температурный режим почвы можно влиять не только снегозадержанием, но и снегогонкой.

Для этого снежный покров насыпают угольным порошком, золой, дорожной или торфяной пылью, золой, мелким песком и другими затеняющими веществами.

Пыльница имеет малую теплоемкость; кроме того, она в большей степени поглощает солнечную радиацию и в меньшей степени



отражает ее, чем снег. Под действием солнечных лучей она нагревается до высокой температуры и нагревает вокруг себя таяние снега. В результате на зачерненной площади снег тает на 5—15 дней раньше, чем на окружающем пространстве без зачернения. Зачернение успешно проводят на малых площадях вручную, на больших — пользуясь аэросаями, вертолетом или самолетом. На один гектар достаточно рассыпать 1—2 ц затенителя.

Искусственная снегостонка имеет большое производственное значение там, где весна начинается поздно, вегетационный период короткий, количество солнечных дней большое. Такие условия наблюдаются, например, в Якутии, где удлинение вегетационного периода является важным агротехническим приемом. Искусственная снегостонка дает возможность в более ранние сроки начать обработку почвы, раньше создавать нагон для /кота.

Зачернение можно применить не только для снега, но и для льда. Этим приемом можно ускорить вскрытие рек и начало навигации, усилить таяние ледников и питание рек. Существует проект применить зачернение льдов Арктики, чтобы вызвать усиленное их таяние и в конечном счете потепление всего северного района.

Если на полях провести зачернение отдельными полосами, например на расстоянии 10—15 м одна от другой, то таяние снежного покрова в целом будет растянуто на больший срок и талые воды лучше будут проникать в почву, уменьшится бесполезный сток.

## **16. Воздействие на температурный режим почвы при помощи искусственных покрытий и утепления грунта**

Для воздействия на температурный режим почву покрывают стеклом — парниковыми или тепличными рамами. Обогревается грунт снизу при помощи навоза и мусора (биотоплива), горячей водой, паром или нагретым воздухом, пропускаемым по трубам, заложеным в почву, а также электричеством.

В качестве заменителя стекла в совхозе «Садопарковое» Кемеровской области были испытаны пленки полихлорвиниловая, полиэтиленовая и полиамидная типа «перфоль». Наиболее подходящей по физическим свойствам оказалась полиамидная пленка: она лучше, чем стекло, пропускает коротковолновую часть спектра, ультрафиолетовые лучи; толщина ее 0,05—0,07 мм, ширина 1,24 м. Для покрытия теплиц применяют пленку толщиной 0,12—0,2 мм. Преимущество пленки также в том, что она легка и не требует возведения капитальных сооружений и больших затрат на каркасы. Пленка дает возможность легко регулировать температуру внутри парника и теплицы. Число жестких перекрытий делается меньше, поэтому внутрь проникает больше солнечной радиации.

Отсутствие щелей в пленочных укрытиях затрудняет под ними вентиляцию воздуха и сохраняет тепло; температура воздуха под пленкой, по данным акад. В. И. Эдельштейна, бывает на 3—4°, а ночью — на 1,5—2° выше, чем под остекленными рамами парника.

Следует отметить, что пленки слабо защищают растения от заморозков; в период ночных заморозков необходимо применять дополнительные укрытия — маты, рогожки и др.

Под пленкой создается высокая влажность воздуха, которая для некоторых овощей (помидоры, рассада) может быть неблагоприятной.

Применяя пленочные покрытия, необходимо также позаботиться об источниках углекислого газа под ними, например навоза.

Недостаток пленки — малый срок службы и быстрое старение под влиянием высокой температуры, коротковолновой радиации, кислорода воздуха и других факторов.

## 17. Использование отбросного топлива

Многие промышленные предприятия имеют отходы тепла, которые могут быть использованы для подогрева почвы расположенных по соседству с предприятиями парников и теплиц.

Большим успехом в использовании отбросного топлива достиг Московский нефтеперерабатывающий завод. Количество тепла, выделяемое заводом в виде пара, горячей воды и дымовых газов, достаточно для обогрева 100 теплиц, до 1000 м<sup>2</sup> каждая.

Для использования тепловых отходов создан теплоцентр, куда из всех цехов завода самотеком поступает вода с температурой 60—65°. Здесь вода очищается и подогревается отработанным паром до 90—95°. Далее чистая нагретая вода подается в теплопроводы и через них в теплицы.

Следует отметить, что завод снабжает теплицы не только теплом, но и углекислым газом, получаемым из дымовых отходов.

Другой вариант использования отходов тепла осуществлен в Свердловске на Уральском машиностроительном заводе. Здесь вода оборотного цикла с температурой 25—30°, проходящая по трубопроводу от мартецовского цеха к градирне, подается ровным слоем на поверхность стекляннной крыши теплицы. Слой 4—6 мм вода проходит по крыше со скоростью до 0,5 м/сек, а по боковым стенкам со скоростью 2—3 м/сек. С боковых стен теплицы вода возвращается в общую систему оборотного цикла. Таким образом, подогрев теплиц происходит от покрывающей стекляннной поверхности. При температурах наружного воздуха ниже —20° температура почвы и воздуха в теплицах превышает 20°.

Такая же система использования отбросного тепла применена в Свердловске на электростанции имени Куйбышева. Здесь в дополнение к теплоизоляционному обогреву водой, имеющей

температуру 12—15°, подключена система паровоздушного обогрева почвы. Вода, передающая тепло почве, идет под стеллажами и предварительно подогревается общей обогревательной системой станции.

Следует отметить, что в хозяйствах, организуемых около крупных промышленных предприятий, а также вблизи линий высокого напряжения, возможно применение электрообогрева почвы.

### 18. Тепловой режим различно наклоненных и различно ориентированных поверхностей почвы

В главе II было показано, что количество солнечной энергии, приходящееся на единицу поверхности, зависит от угла, под которым луч падает на земную поверхность. Там же был указан метод вычисления количества солнечной энергии, падающей на плоскость заданного наклона и ориентировки.

Применяя описанные методы, можно рассчитать количество солнечной энергии, падающей на плоскость заданного наклона и ориентировки, показать значение рельефа местности.

Различие в количестве солнечной энергии, получаемой склонами различной экспозиции, создает разницу в микроклиматических условиях почвы и прилегающего слоя воздуха.

Южный склон получает больше солнечной энергии, чем северный, и имеет более высокую температуру почвы и прилегающего слоя воздуха. Разница температур зависит от угла наклона поверхностей почвы, от глубины, состава почвы и ее влажности и может достигать 10° и более. При восходе солнца температура на восточном склоне быстро поднимается. Испарение, на которое затрачивается значительное количество тепла, и ветер в известной степени выравнивают температуры со всех сторон возвышенности.

В качестве более сложного примера рассмотрим тепловой режим *ребра* в зависимости от его направления и угла наклона боковых сторон. В дальнейшем рассматриваются количества тепла от прямых солнечных лучей, которые получают в сумме 2 см<sup>2</sup>, расположенные по одному с каждой стороны ребра.

Если воспользоваться приведенной выше формулой (стр. 84) и вычислить, какое количество калорий получают 2 см<sup>2</sup> ребра на широте 40° в зависимости от направления и наклона боковых поверхностей, то получим таблицу 32.

Из таблиц и рисунка видно, что количество солнечной энергии, падающее за день в сумме на обе поверхности ребра, уменьшается при увеличении наклона боковых поверхностей.

Таблица показывает также, что количество энергии, которое получает С—Ю ребро, существенно отличается от количества энергии, получаемого З—В ребром. Для сравнения составим разности количеств солнечной энергии, получаемых С—Ю и

Количество солнечной энергии (в кал.), получаемой за день склонами С — Ю  
и З — В гребня (в кал.),

*Направление гребня С — Ю*

Наклон (в °)	Март	Апрель	Май	Июнь
0	906	1074	1272	1320
15	888	1044	1238	1278
30	828	972	1152	1188
45	756	864	1032	1062
60	660	756	888	918
75	558	624	726	750
90	438	492	558	576

*Направление гребня З — В*

Наклон (в °)	Март	Апрель	Май	Июнь
0	106	1074	1272	1320
15	876	1038	1236	1278
30	792	936	1116	1152
45	642	756	912	942
60	552	546	654	690
75	480	372	348	390
90	372	240	198	186

З — В гребнями; кроме того, первое количество выразим в процентах от второго. Получим таблицу (табл. 33). Разности количества солнечной энергии в калориях изобразим графически (рис. 39).

Таблица и рисунок показывают, что пока угол наклона боковых поверхностей С — Ю и З — В гребней мал, до тех пор и разницы в полученных количествах солнечной энергии невелики; кривые идут густым и довольно согласным пучком. Но после того как наклон превысил 15° и особенно 30°, кривые резко идут вверх и постоянно начинают разделяться. Наименьшие разности дают С — Ю и З — В гребни в марте. Наибольшая разница для марта достигает 114 кал. при наклоне боковых поверхностей 45° и затем постоянно уменьшается.

Разности количества солнечной энергии, получаемых С — Ю гребнем по сравнению с З — В гребнем

Наклон	В калориях			
	март	апрель	май	июнь
15°	12	6	0	0
30°	36	36	36	36
45°	114	108	120	120
60°	108	210	234	228
75°	78	252	378	360
90°	66	252	360	390
Наклон	В процентах			
	март	апрель	май	июнь
15°	101	101	100	100
30°	102	104	103	108
45°	118	114	113	113
60°	120	138	135	142
75°	116	167	206	192
90°	117	190	278	309

В апреле и особенно в мае и июне разница резко возрастает. Абсолютные значения разности достигают 390 кал.

Вторая часть таблицы показывает, что если наклон боковых поверхностей гребня не превышает 30°, то направление гребня мало влияет на количество получаемой ею солнечной энергии и не превышает 3—4%.

При больших наклонах боковых поверхностей разница может достигать 200% и более, т. е. С—Ю гребень может получить в два раза больше солнечной энергии, чем З—В гребень. Нарастание разности идет за счет утренних и вечерних часов. В полуденные же часы З—В гребень получает больше энергии, чем С—Ю гребень.

Подобным же образом можно исследовать солнечный режим гребня для более высоких широт, например для широты 55°, 80° и др.

Сравнение полученных результатов для различных широт покажет общую закономерность: при перемещении с юга на север

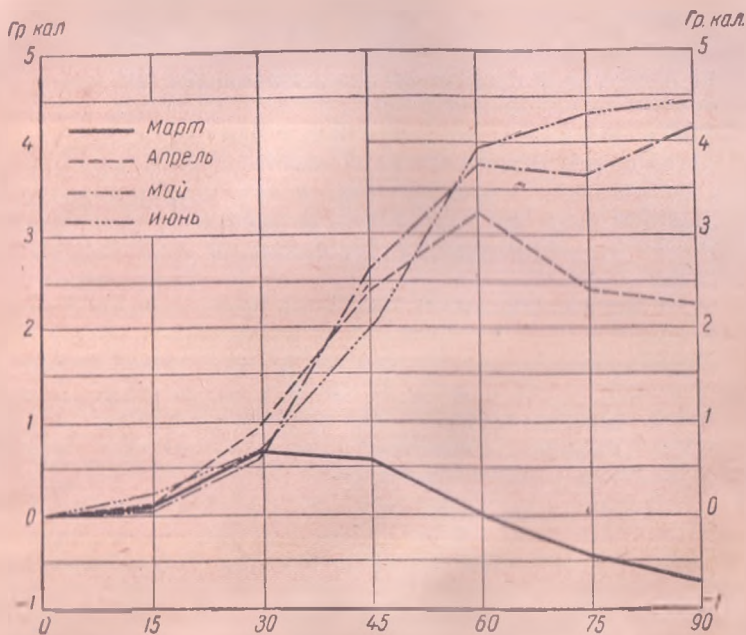


Рис. 30. Разности количеств солнечной энергии, получаемых С—Ю гребнем и З—В гребнем.

преимущество С—Ю гребня в отношении количества получаемой солнечной энергии постепенно уменьшается.

На широте  $80^\circ$  характер распределения энергии изменился в том смысле, что на этой широте и выше для больших наклонов боковых поверхностей имеем не меньшее количество солнечной энергии (по сравнению с горизонтальной поверхностью), а большее. Это показывает, что в северных широтах полезно делать гребни с крутыми склонами: направление гребня имеет меньшее значение.

Рассмотренный пример показывает, что, пользуясь приведенной выше формулой, можно изучать солнечный режим любого типа, плоскости любого наклона и ориентировки.

## 19. Нагревание и охлаждение воды

Тепловой режим водных бассейнов существенно отличается от температурного режима почвы, так как физические свойства почвы и воды различны.

Теплоемкость воды примерно в два раза больше теплоемкости суши. Поэтому солнечные лучи одинаковой интенсивности, падающие на поверхность воды и суши, нагревают их по-разному: поверх-

ность суши будет нагрета до более высокой температуры, чем поверхностный слой воды.

Вода пропускает и глубину значительное количество солнечных лучей, и то прями как почва принимает все солнечные лучи только на очень малую глубину. Вследствие прозрачности воды нагревается одновременно слой толщиной несколько метров. При этом нагревание неравномерно. Красные лучи поглощаются в самом поверхностном слое. До глубины 10 м проникает красных лучей 2%, желтых 7, желто-зеленых 39, синих 69% первоначального количества.

Вода — среда подвижная; под влиянием ветра и разностей температуры различных слоев в ней развиваются конвективные токи и турбулентное перемешивание. В результате происходит передача тепла от поверхностных слоев в глубь воды.

Наконец, следует отметить, что водная поверхность в значительной мере отражает солнечные лучи, особенно при малых высотах солнца над горизонтом.

Под влиянием отмеченных особенностей поверхностный слой воды меньше нагревается и охлаждается, чем поверхностный слой суши. Амплитуда суточных колебаний температуры на поверхности озер не превышает 5°; амплитуда годовых колебаний глубоководных водоемов не превышает 15°. С глубиной амплитуда температурных колебаний в воде убывает гораздо медленнее, чем в почве.

Запаздывание моментов наступления максимальной и минимальной температуры в суточном ходе равно 2—3 часам; в годовом максимальные температуры приходится на август, минимальные — на февраль или март.

Пресная вода наибольшую плотность имеет при 4°. Поэтому при понижении температуры воды плотность ее повышается, пока не будет достигнута температура 4°; при дальнейшем понижении температуры плотность воды уменьшается.

Частицы воды максимальной плотности опускаются ко дну водоема и вытесняют оттуда вверх частицы воды меньшей плотности. Отсюда вытекает, что в больших и глубоких водоемах с непроточной, стоячей водой температура нижних слоев воды в течение всего года будет близкой к 4°.

В *мелких* водоемах температурный режим воды находится в большей зависимости от температуры суши, прилегающей к водоему с боков и снизу.

Таким образом, в отношении температурного режима вода более инертна, чем суша. Она медленнее нагревается и до большей глубины, чем суша, но зато лучше сохраняет запас тепла и с большим трудом отдает его и охлаждается.

Над поверхностью воды в ночные часы, а также в зимние месяцы наблюдаются более высокие температуры, чем над сушей.

Большие водные бассейны и водохранилища способствуют смягчению климата прилегающих областей суши, уменьшению

температурных колебаний, увеличению влажности, особенно это относится к областям с континентальным климатом. Например, озеро Байкал оказывает большое влияние на климат прилегающих к нему областей. Амплитуда температуры воздуха в Лиственничном на берегу Байкала на  $9^{\circ}$  меньше, чем на расстоянии 50 км (в Иркутске); зима на  $5,5^{\circ}$  теплее, а лето на  $3,5^{\circ}$  прохладнее.

Большое значение имеет движение воды. Течения Гольфстрима и Куро-Сиво переносят в полярные области большие запасы тепла, в то время как Гренландское и Курильское течения относят к югу большие массы более холодной воды. Морские течения оказывают большое влияние на климат прибрежных стран.

Вода и ее распределение по земному шару являются одним из важнейших факторов формирования и распределения на Земле различных климатических зон.

## 20. Вечная мерзлота

На огромном пространстве — свыше 10 млн. км<sup>2</sup> к северу и северо-востоку от линии, соединяющей нижнее течение Печоры и Амура, охватывающей Сибирь, Дальний Восток, Заполярье, расположена так называемая область вечной мерзлоты (рис. 40). Она характеризуется тем, что в летнее время на этой площади оттаивает только поверхностный слой почвы толщиной в несколько десятков сантиметров. Ниже почва постоянно сохраняет отрицательную температуру. Этот слой почвы достигает разной глубины. По южной границе глубина промерзшего грунта невелика и местами исчисляется немногими метрами. К северу и северо-востоку глубина слоя вечной мерзлоты достигает нескольких сот метров.

В мерзлом грунте встречаются замерзшие водоемы и реки. В основном массиве мерзлого грунта, особенно на севере, было найдено большое количество трупов вымерших животных. В некоторых случаях они сохранились полностью, т. е. сохранился не только скелет, но и мясо и волосяной покров.

Это показывает, что возникновение вечной мерзлоты относится к геологическим эпохам, протекавшим много тысяч лет назад.

Сохранению вечной мерзлоты содействует отрицательный годовой тепловой баланс этих мест. По мнению некоторых специалистов, отрицательный тепловой баланс мест, имеющих отрицательную среднегодовую температуру, может служить причиной не только сохранения слоя вечной мерзлоты, но и возникновения его и развития. На распределение и глубину проникновения вечной мерзлоты оказывает влияние также залегание снежного покрова. На низинах Забайкалья и Приамурья, где высота снежного покрова имеет ничтожную величину — менее 10 см, вечная мерзлота сильно распространена. В то же время в Нарымском крае, где мощность снежного покрова достигает 40 см, вечная мерзлота не наблюдается.



ность суши будет нагрета до более высокой температуры, чем поверхностный слой воды.

Вода пропускает и в глубину значительное количество солнечных лучей, и то время как почва принимает все солнечные лучи только на очень малую глубину. Вследствие прозрачности воды нагревается одновременно слой толщиной несколько метров. При этом нагревание неравномерно. Красные лучи поглощаются в самом поверхностном слое. До глубины 10 м проникает красных лучей 2%, желтых 7, желто-зеленых 39, синих 69% первоначального количества.

Вода — среда подвижная; под влиянием ветра и разностей температуры различных слоев в ней развиваются конвективные токи и турбулентное перемешивание. В результате происходит передача тепла от поверхностных слоев в глубь воды.

Наконец, следует отметить, что водная поверхность в значительной мере отражает солнечные лучи, особенно при малых высотах солнца над горизонтом.

Под влиянием отмеченных особенностей поверхностный слой воды меньше нагревается и охлаждается, чем поверхностный слой суши. Амплитуда суточных колебаний температуры на поверхности озер не превышает 5°; амплитуда годовых колебаний глубоководных водоемов не превышает 15°. С глубиной амплитуда температурных колебаний в воде убывает гораздо медленнее, чем в почве.

Запаздывание моментов наступления максимальной и минимальной температуры в суточном ходе равно 2—3 часам; в годовом максимальные температуры приходится на август, минимальные — на февраль или март.

Пресная вода наибольшую плотность имеет при 4°. Поэтому при понижении температуры воды плотность ее повышается, пока не будет достигнута температура 4°; при дальнейшем понижении температуры плотность воды уменьшается.

Частицы воды максимальной плотности опускаются ко дну водоема и вытесняют оттуда вверх частицы воды меньшей плотности. Отсюда вытекает, что в больших и глубоких водоемах с непроточной, стоячей водой температура нижних слоев воды в течение всего года будет близкой к 4°.

В *мелких* водоемах температурный режим воды находится в большей зависимости от температуры суши, прилегающей к водоему с боков и снизу.

Таким образом, в отношении температурного режима вода более инертна, чем суша. Она медленнее нагревается и до большей глубины, чем суша, но зато лучше сохраняет запас тепла и с большим трудом отдает его и охлаждается.

Над поверхностью воды в ночные часы, а также в зимние месяцы наблюдаются более высокие температуры, чем над сушей.

Большие водные бассейны и водохранилища способствуют смягчению климата прилегающих областей суши, уменьшению

температурных колебаний, увеличению влажности, особенно это относится к областям с континентальным климатом. Например, озеро Байкал оказывает большое влияние на климат прилегающих к нему областей. Амплитуда температуры воздуха в Лиственничном на берегу Байкала на  $9^{\circ}$  меньше, чем на расстоянии 50 км (в Иркутске); зима на  $5,5^{\circ}$  теплее, а лето на  $3,5^{\circ}$  прохладнее.

Большое значение имеет движение воды. Течения Гольфстрима и Куро-Сиво переносят в полярные области большие запасы тепла, в то время как Гренландское и Курильское и Курильское течения относят к югу большие массы более холодной воды. Морские течения оказывают большое влияние на климат прибрежных стран.

Вода и ее распределение по земному шару являются одним из важнейших факторов формирования и распределения на Земле различных климатических зон.

## 20. Вечная мерзлота

На огромном пространстве — свыше 10 млн. км<sup>2</sup> к северу и северо-востоку от линии, соединяющей нижнее течение Печоры и Амура, охватывающей Сибирь, Дальний Восток, Заполярье, расположена так называемая область вечной мерзлоты (рис. 40). Она характеризуется тем, что в летнее время на этой площади оттаивает только поверхностный слой почвы толщиной в несколько десятков сантиметров. Ниже почва постоянно сохраняет отрицательную температуру. Этот слой почвы достигает разной глубины. По южной границе глубина промерзшего грунта невелика и местами исчисляется немногими метрами. К северу и северо-востоку глубина слоя вечной мерзлоты достигает нескольких сот метров.

В мерзлом грунте встречаются замерзшие водоемы и реки. В основном массиве мерзлого грунта, особенно на севере, было найдено большое количество трунов вымерших животных. В некоторых случаях они сохранились полностью, т. е. сохранился не только скелет, но и мясо и волосяной покров.

Это показывает, что возникновение вечной мерзлоты относится к геологическим эпохам, протекавшим много тысяч лет назад.

Сохранению вечной мерзлоты содействует отрицательный годовой тепловой баланс этих мест. По мнению некоторых специалистов, отрицательный тепловой баланс мест, имеющих отрицательную среднегодовую температуру, может служить причиной не только сохранения слоя вечной мерзлоты, но и возникновения его и развития. На распределение и глубину проникновения вечной мерзлоты оказывает влияние также залегание снежного покрова. На низинах Забайкалья и Приамурья, где высота снежного покрова имеет ничтожную величину — менее 10 см, вечная мерзлота сильно распространена. В то же время в Нарымском крае, где мощность снежного покрова достигает 40 см, вечная мерзлота не наблюдается.

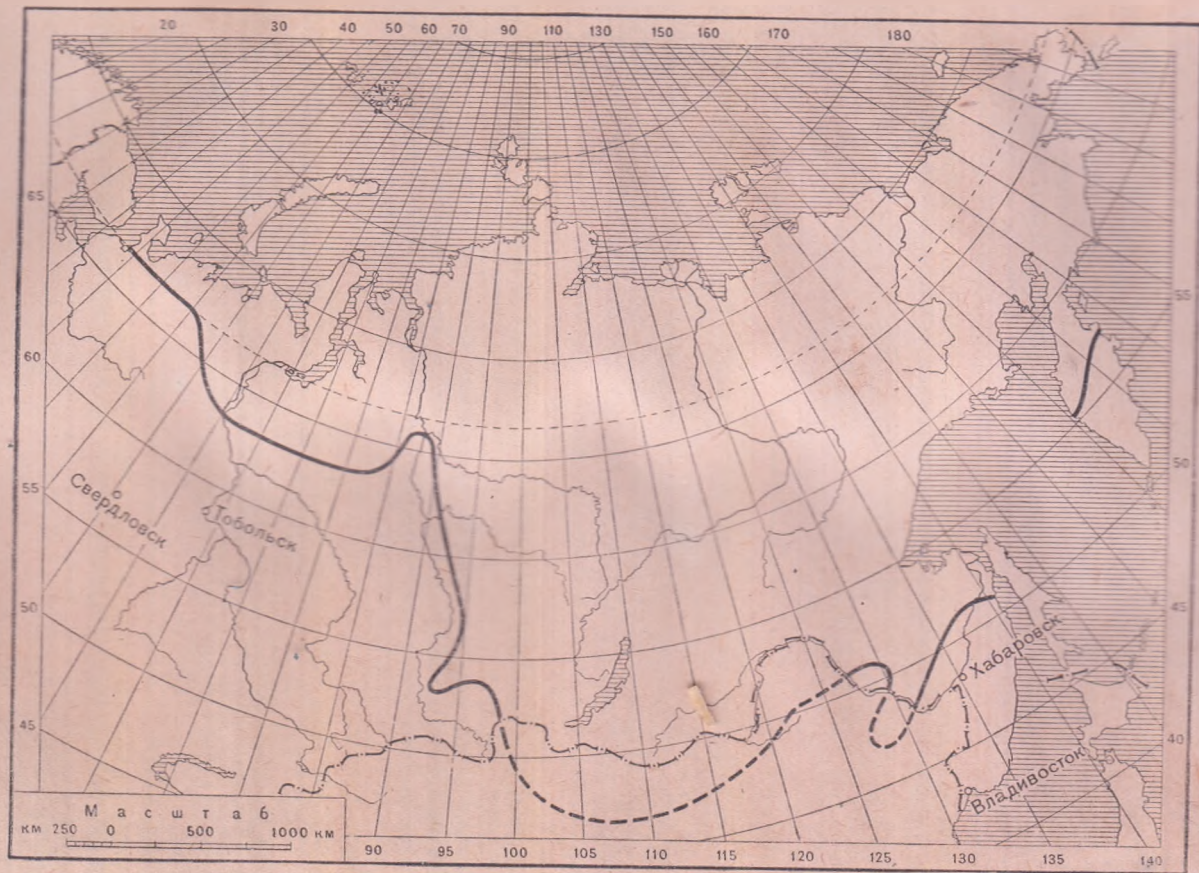


Рис. 40. Карта вечной мерзлоты.

Глубина оттаивания в области вечной мерзлоты зависит не только от условий погоды, но и от состава почвы. Глинистые и торфянистые почвы, обладающие плохой теплопроводностью, оттаивают меньше и позже. Песчаные и щебенистые почвы оттаивают скорее и глубже.

Корневая система растений в области вечной мерзлоты распространяется в основном до замёрзшего слоя; температура этого слоя падает, поэтому интенсивность всасывания воды корневой системой снижена. В то же время надземная часть растения находится при температурах, достигающих в Якутии 30°. Растения развивают корневую систему преимущественно по горизонтали.

Несмотря на указанные климатические особенности, в области вечной мерзлоты выращивается большое количество самых разнообразных культур. Возделываются зерновые и овошные культуры, картофель, различные травы.

На большей части площади с вечной мерзлотой растут берёза, осина, лиственница, кедр.

Однако далеко к северу древесные породы постепенно исчезают, их заменяют мхи, лишайники, низкорослый тальник.

Вечная мерзлота создает большие затруднения в строительном деле. Под любым отапливаемым зданием постепенно тает слой вечной мерзлоты; смещение почвы является причиной разрыва стен, выпирания закрытых столбов и т. д.

Под железнодорожным полотном, построенным на слое вечной мерзлоты, под влиянием периодически проходящих по нему грузов также оттаивает грунт и смещаются рельсы.

Поэтому при строительстве зданий и железных дорог в области вечной мерзлоты применяют особые технические приемы.

Есть, однако, и преимущества вечно замёрзшего грунта. В нем можно строить склады-холодильники. Так, в Ямало-Ненецком округе сооружен громадный вечномерзлотный холодильник. Он представляет собой глубокую крытую траншею с боковыми пирами. Внутренняя поверхность туннеля «штукатуривается» льдом; его замораживают из мокрого снега.

Подобные склады построены также на Тазовском рыбоконсервном комбинате, на Гыдацком рыбозаводе, в бухте Находка и в Тюменской области. Опыт построения таких складов в слое вечномерзлотной почвы заслуживает внимания и широкого распространения.

## ВОДА В АТМОСФЕРЕ И В ПОЧВЕ

## 1. Атмосферная влага и ее значение в сельском хозяйстве

Вода имеет исключительное значение по всех физических процессах, протекающих в атмосфере и почве, а также по всех физиологических процессах, в животном и растительном организме. Поглощая воду из почвы, растение использует удобрения и минеральные составные части ее. Испаряя воду через листовую поверхность, растение регулирует свой температурный режим.

По исследованиям проф. М. С. Дунина, даже кратковременная обратимая потеря тургора хлебных злаков при дефиците воды в почве и воздухе резко снижает устойчивость их к мучнистой росе.

Следует, однако, подчеркнуть, что воздействие на растение водного режима воздуха и почвы происходит не изолировано от других факторов внешней среды, таких, например, как солнечная радиация, температура воздуха и почвы, ветер и др. Растение в течение своей жизни взаимодействует с комплексом условий внешней среды.

В физических процессах, протекающих в атмосфере и в почве, вода имеет большое значение, потому что она встречается в природе в твердом, жидком и газообразном состоянии. Переход воды из одного состояния в другое сопровождается выделением или поглощением тепла. Кроме того, вода в атмосфере во всех трех ее состояниях взаимодействует с солнечной радиацией, изменяет ее состав и интенсивность.

## 2. Насыщающие водяные пары

Количество водяного пара в атмосфере может быть измерено весом водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха; обычно влажность воздуха измеряют в весовых единицах, например в граммах на  $1 \text{ м}^3$ .

Влажность воздуха может быть измерена также в миллиметрах ртутного столба (мм) или в миллибарах (мб), показывающих парциальное давление водяного пара.

При заданной температуре в воздухе может содержаться не свыше некоторого предельного количества водяных паров, которое носит название насыщенности водяных паров.

В таблице 34 приведены количества насыщающих водяных паров при разных температурах.

Таблица 34

Плотность и давление насыщающего водяного пара при разных температурах  
(таблица вычислена для давления 1000 мб)

Температура воздуха (t°)	Вес водяного пара в граммах на 1 м <sup>3</sup> воздуха (В)	Максимальное давление водяных паров (Е)	
		мб	мм
-40	0,1	0,2	0,1
-30	0,3	0,5	0,3
-20	1,0	1,3	0,8
-10	2,1	2,9	2,0
0	4,8	6,1	4,6
10	9,4	12,3	9,2
20	17,3	23,4	17,6
30	30,4	42,5	31,9
40	51,1	73,8	55,5

С повышением температуры воздуха количество насыщающих водяных паров резко увеличивается. Так, при изменении температуры от  $-20^{\circ}$  до  $+30^{\circ}$  это увеличение происходит более чем в 30 раз. Поэтому, упоминая о величине насыщающего водяного пара, необходимо указывать температуру.

Помимо предела, указанного в таблице, количество водяного пара может иметь любое значение.

Приведенные числа представляют собой упругость насыщающего водяного пара над плоской поверхностью воды.

Над выпуклой поверхностью, например над поверхностью капли воды, давление насыщающего пара значительно выше.

Над вогнутой поверхностью упругость насыщающего пара меньше, чем над плоской поверхностью.

Испарение с ледяной поверхности идет медленнее, чем с водной переохлажденной поверхности при той же температуре; поэтому упругость насыщающего водяного пара над льдом должна быть меньше, чем над водой. В таблице 35 показана величина давления насыщающего водяного пара над поверхностью льда и над поверхностью переохлажденной воды, а также дано их процентное соотношение.

Воздух, насыщенный водяным паром, например при  $-40^{\circ}$  над льдом, содержит только 92% того количества, которое нужно для насыщения над водой. Наоборот, воздух, насыщенный водяным паром над водой, пересыщен по отношению к поверхности льда.

Указание максимальной упругости над поверхностью воды и льда имеет большое значение при возникновении процессов испарения и конденсации и образования гидрометеоров, особенно в

Максимальная упругость водяного пара в миллибарах

Температура	0°	-2	-4	-6	-8	-10	-20	-30	-40
Над переохлажденной водой $E_w$	6,1	5,27	4,54	3,90	3,34	2,86	1,25	0,51	0,19
Над льдом $E_l$	6,1	5,18	4,99	3,70	3,12	2,62	1,05	0,38	0,13
$\frac{E_w}{E_l}$ 100%	100	98	97	95	93	92	84	75	68
$\frac{E_w}{E_l}$ 100%	100	102	103	105	107	109	119	134	146

высоких слоях атмосферы, где часто наблюдаются большие количества переохлажденных капель воды. Скорость испарения с поверхности растворов значительно меньше, чем с поверхности чистой воды.

В соответствии с этим максимальная упругость водяного пара над водными растворами меньше, чем над дистиллированной водой.

Пусть 1 м<sup>3</sup> воздуха имеет температуру 20° и содержит 17,3 г водяного пара. Будем охлаждать его до 10°; при этой температуре для насыщения достаточно иметь в 1 м<sup>3</sup> только 9,4 г/м<sup>3</sup> водяного пара, следовательно, излишек 17,3 - 9,4 = 7,9 г/м<sup>3</sup> должен сконденсироваться. Таким образом, понижение температуры воздуха приводит к конденсации водяных паров.

Если 1 м<sup>3</sup> воздуха, насыщенный при 0°, т. е. содержащий в каждом м<sup>3</sup> 4,8 г водяного пара, подогреть до 20°, то он окажется относительно сухим, так как при 20° для насыщения необходимо на каждый м<sup>3</sup> иметь 17,3 г пара, т. е. в 3,5 раза больше. Если влажность насыщенного воздуха принять за 100%, то в указанных условиях относительная влажность воздуха равна:

$$\frac{4,8}{17,3} \cdot 100 = 28\%$$

Таким образом, повышение температуры воздуха делает его относительно более сухим.

На таблицы 34 видно, что числа, характеризующие количество граммов насыщающего водяного пара в 1 м<sup>3</sup> воздуха, близки к числам давления водяного пара, измеренного в миллиметрах ртутного столба,

Совпадение это случайное; однако на него следует обратить внимание, так как оно облегчает запоминание некоторых чисел таблицы насыщающих водяных паров.

Для ориентировки всегда следует запомнить хотя бы отдельные округленные числа каждой таблицы.

### 3. Единицы измерения влажности

Важно было указать, что влажность воздуха может быть измерена в весовых единицах — в граммах на 1 м<sup>3</sup> воздуха ( $B$ ), а также величиной парциального давления водяного пара, которое измеряется в миллиметрах рт. ст. или в миллибарах и называется *абсолютной влажностью*; обозначим ее буквой  $e$ , при насыщающем водяном паре — буквой  $E$ .

Относительная влажность ( $r$ ) определяется по формуле:

$$r = \frac{e}{E}.$$

т. е. *относительная влажность есть отношение абсолютной влажности к насыщающему водяному пару при заданной температуре*. Она представляет собой правильную дробь, величина которой может измениться от 0 при  $e = 0$  до 1 при  $e = E$  при насыщающем водяном паре. Практически  $e$  не бывает равно нулю, так как в природе не существует абсолютно сухого воздуха. Значения  $e$  могут достигать  $E$ , так как воздух часто оказывается насыщенным водяными парами. Если приведенное выше выражение умножить на 100, то относительная влажность будет измеряться в процентах. Формула принимает вид:

$$r\% = \frac{e}{E} \cdot 100.$$

Разность  $E - e$  также может характеризовать состояние влажности воздуха, так называемый недостаток насыщения, или *дефицит влажности*. Обозначим ее буквой  $D$ :

$$D = E - e,$$

т. е. *дефицит влажности есть разность между давлением насыщающего водяного пара при заданной температуре и абсолютной влажностью*. Формулу можно переписать в виде:

$$e + D = E.$$

Исходя из нее, можно дать другое определение: *дефицит влажности есть такое количество водяного пара, которое следует прибавить к существующему, чтобы получить полное насыщение*.



Дефицит влажности измеряется в тех же единицах, что и абсолютная влажность, т. е. в миллиметрах или в миллибарах; он может быть выражен также и в весовых единицах на единицу объема.

Наконец, следует указать еще одну характеристику влажности воздуха — точку росы; она представляет собой температуру, при которой существующее количество водяного пара будет насыщающим, и, следовательно, измеряется в градусах температуры.

Таблица показывает, что если давление водяного пара равно, например, 12,3 мб, то независимо от того, какая температура воздуха наблюдается в данное время, точка росы будет равна 10°, так как при этой температуре насыщающий водяной пар производит давление 12,3 мб.

Следовательно, чтобы определить точку росы, надо знать абсолютную влажность —  $e$ . Тогда по таблице насыщающего водяного пара, по значению  $e$  можно определить ту температуру, при которой  $e$  будет насыщающим; это и будет точка росы.

В приложении дана таблица для определения точки росы по значениям абсолютной влажности в мб.

Приведенные характеристики влажности воздуха имеют широкое применение в сельскохозяйственной науке и практике.

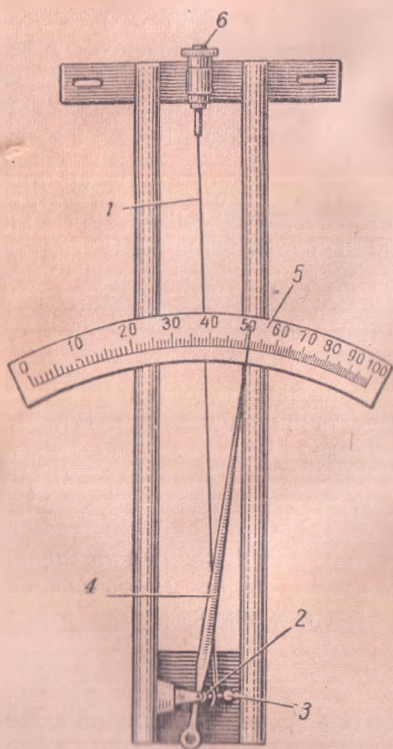


Рис. 41. Гигрометр.

#### 4. Приборы для измерения влажности воздуха

Волосной гигрометр. Простейший прибор для измерения относительной влажности воздуха — гигрометр. Он основан на свойстве человеческого волоса удлиняться при увеличении влажности воздуха и укорачиваться при уменьшении ее.

Устройство прибора следующее (рис. 41). Один конец обезжиренного волоса 1 закреплен к регулировочному винту 6 у верхнего края небольшой металлической рамки. Другой конец волоса закреплен на дужке 2, связанной с грузиком 3, который все время

деревянный волос гигрометра в натянутом состоянии. Дужка соединена с осью, на которой укреплена стрелка 6, против конца стрелки имеется шкала 5.

При увеличении влажности воздуха длина волоса увеличивается, грузик опускается немного вниз и вращает ось; конец стрелки перемещается в сторону больших значений шкалы. При уменьшении влажности волос укорачивается, поднимает грузик и стрелка перемещается в сторону меньших значений.

Чтобы определить относительную влажность по гигрометру, необходимо отсчитать положение стрелки на шкале и в полученный отчет внести поправку.

Большим преимуществом прибора является то, что *волосной гигрометр одинаково хорошо работает как при положительных, так и при отрицательных температурах воздуха, при которых другие методы определения влажности непригодны.*

Поэтому зимой для измерения влажности воздуха практически пользуются только волосным гигрометром, выверенным в осенние месяцы.

**Стационарный психрометр.** Для измерения влажности воздуха применяется также психрометр (рис. 42).

Он состоит из двух одинаковых термометров. Резервуар одного термометра плотно обернут батистом, конец которого опущен в стаканчик с дистиллированной водой.

Из-за капиллярности вода по батисту непрерывно поднимается вверх и смачивает резервуар термометра, который поэтому называется смоченным. Второй термометр остается в обычном состоянии и в отличие от смоченного термометра называется сухим; он показывает температуру воздуха. Вода с батиста непрерывно испаряется в окружающее пространство; поэтому показания смоченного термометра обычно ниже показаний сухого термометра.

Чем суше воздух, тем сильнее испаряется вода с батиста, тем больше разность показаний сухого и смоченного термометров.

Такая пара термометров укрепляется на специальной подставке в метеорологической будке и называется *стационарным психрометром.*

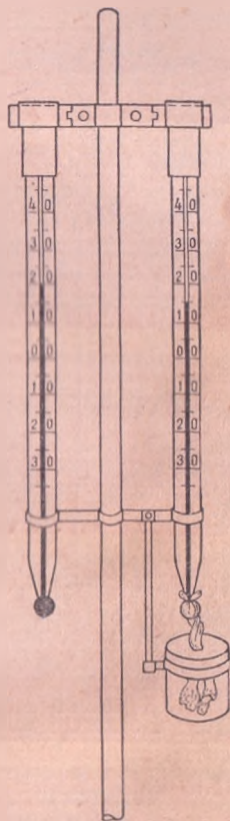


Рис. 42. Психрометр стационарный.

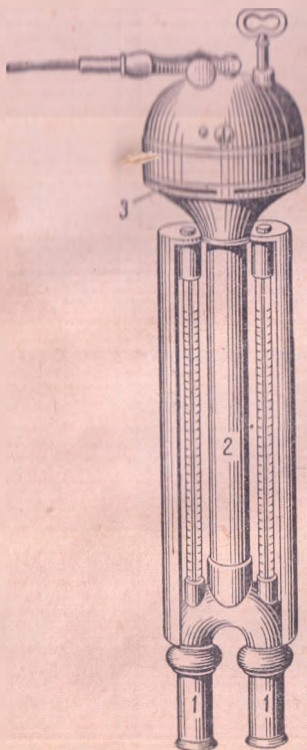


Рис. 43. Психрометр аспирационный.

Следует, однако, заметить, что при полном штиле или при очень малых скоростях ветра воздух в будке застаивается, испарение с батиста ослабевает, в результате получают искажения при определении температуры и влажности воздуха. Если метеорологическую будку поместить среди растений, то она окажется в застойном воздухе и не будет вентилироваться.

Чтобы устранить переменное влияние ветра, был сконструирован *аспираторный психрометр*, в котором термометры постоянно вентилируются равномерным током воздуха.

Устройство аспирационного психрометра следующее (рис. 43): два термометра закреплены в оправе параллельно один другому; резервуары их находятся в двустенных трубках *1*; один из резервуаров плотно обернут слоем батиста.

Трубки *1* объединяются в одну трубку *2*; на верхнем конце ее укреплен небольшой вентилятор. Если его завести и пустить в ход, то вентилятор будет просасывать воздух через трубки *1* и *2* и выбрасывать через целевые отверстия *3*; таким образом, резер-

вуары сухого и смоченного термометров и пользуясь психрометрическими таблицами, можно без каких-либо вычислений определить значения абсолютной и относительной влажности, а также дефицит влажности. Зная абсолютную влажность, можно по тем же таблицам определить точку росы.

**Аспирационный психрометр.** Н. А. Зворыкин отметил, что показания описанного выше стационарного психрометра в большой степени зависят от наличия ветра и его скорости. В спокойном воздухе испарившаяся с поверхности резервуара вода обогащает водяными парами окружающий воздух, затрудняет дальнейшее испарение и искажает показания прибора.

Чтобы термометр все время находился в изучаемом воздухе с неизменными свойствами, необходимо этот обогащенный водяными парами слой воздуха отводить в сторону, сдувать. Эту задачу и выполняет ветер. Таким образом, *вентиляция прибора является необходимым условием правильности показаний психрометра.*

Именно с этой целью стационарный психрометр помещают в легко продуваемую метеорологическую будку. Сле-

дуры термометров будут находиться в условиях постоянной вентиляции. Психрометр нельзя располагать горизонтально, так как при этом скорость и постоянство вентиляции могут быть существенно изменены за счет усиления или ослабления ее ветром.

Существенным недостатком асирационного психрометра является неопределенность того слоя воздуха, для которого прибор дает показания. Вентилятор засасывает воздух из большого объема воздуха диаметром в несколько десятков сантиметров. Если такая неопределенность допустима при чисто метеорологических измерениях на высоте 2 м от земной поверхности, то она не может быть допущена при измерениях в приземном слое воздуха, а также среди культур, при которых изучаются метеорологические условия небольших объемов воздуха и уроней, близко расположенных один к другому, но резко различающихся по физическим свойствам.

**Фитопсихрометр.** Для измерения температуры и влажности среди растений и в приземном слое воздуха имеется сконструированный автором переносный психрометр в защите — фитопсихрометр. Устройство его следующее (рис. 44).

Духово-жидная защита имеет вид, показанный на рисунке; выпуклая сторона каждой поверхности окрашена в белый цвет, вогнутая — в черный. Задача выпуклой стороны — по возможности отражать попадающую на нее солнечную радиацию; задача вогнутой — по возможности поглощать попадающую на нее радиацию и не отражать ее в сторону термометров.

Фитопсихрометр устанавливают на заданной высоте боковым параллелем на север. Шкалы термометров должны быть направлены в югу.

Преимущество такой конструкции психрометра заключается в следующем.

Смоченный термометр находится в таких же условиях вентиляции, какие существуют около ближайших растений. Застой воздуха в защите не может быть ни при каких хотя бы и очень малых скоростях ветра. Прибор дает показания, соответствующие уровню, на котором находятся резервуары термометров психрометра. Малые размеры психрометра дают возможность установить его среди растений, в междурядьях и вблизи земной поверхности.

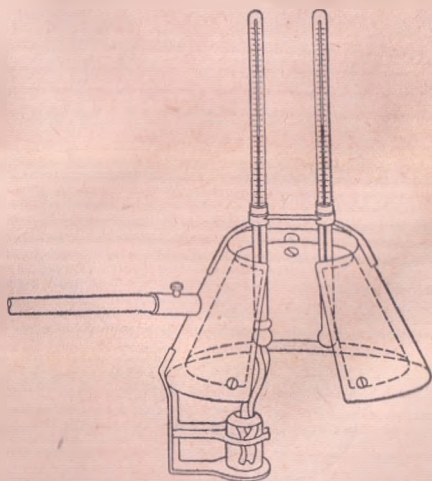


Рис. 44. Фитопсихрометр.

**Конденсационный гигрометр.** Простейшая конструкция конденсационного гигрометра показана на рисунке 45; он выполнен из прозрачного флексигласа. Прибор имеет форму плоской коробки, укрепленной на подставке. В передней стенке сделано отверстие, закрытое тонким металлическим отполированным кружком 1. Вокруг кружка на стенке коробки укреплено сделанное из того же металла отполированное кольцо 2. На верхней грани коробки имеется отверстие, закрытое пробкой 3, через которое внутрь коробки заливается легко испаряющаяся жидкость, например эфир. В центре имеется отверстие, в которое вставляется термометр 4, измеряющий температуру эфира. Справа имеется отверстие, через которое внутрь коробки введена изогнутая трубка 5. В нижнем горизонтальном колене этой трубки по всей длине ее имеются небольшие отверстия. К верхнему концу этой трубки присоединяется груша, при помощи которой внутрь трубки и коробки можно нагнетать воздух.

Прибор имеет защитный чехол, который надевается на переднюю стенку прибора для защиты отполированного кружка и кольца от загрязнения при хранении.

Конструкция описанного прибора разработана автором книги. Простота конструкции допускает изготовление прибора в любой мастерской.

**Гигрограф.** Гигрограф (рис. 46) — прибор, который служит для записи хода относительной влажности воздуха.

Барабан 1 при помощи заложенного в нем часового механизма вращается вокруг вертикальной оси. Полный оборот барабан может совершить в неделю или в сутки; в первом случае гигрограф называется недельным, во втором — суточным.

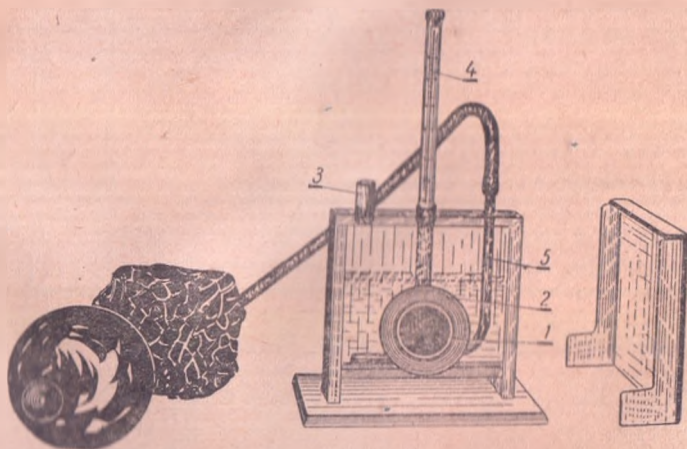


Рис. 45. Конденсационный гигрометр.

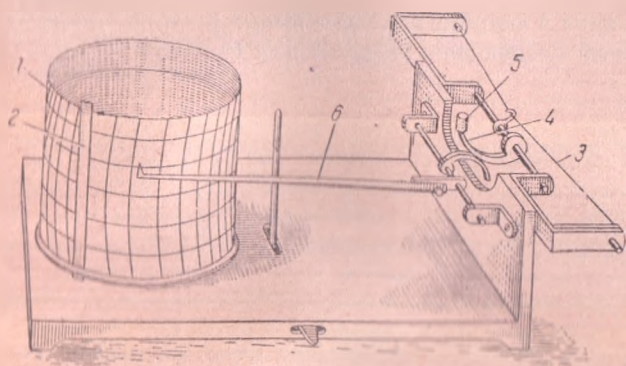


Рис. 46. Гигрограф.

На барабан накладывается разграфленная бумажная лента — шкала и удерживается на нем полосовой пружиной 2, прижимающей края ленты к барабану.

Приемником относительной влажности служит пучок обезжиренных человеческих волос 3 длиной около 20 см, укрепленный своими концами в рамке. За него зацепляют небольшой крючок, соединенный с рычагом 4, имеющим на конце небольшой грузик 5, который постоянно держит пучок волос в натянутом положении.

При увеличении влажности воздуха пучок волос удлиняется и грузик, оттягивая пучок, заставляет перо гигрографа 6 идти вверх; при уменьшении же относительной влажности перо гигрографа опускается.

## 5. Изменение влажности воздуха с высотой

Распределение водяного пара в атмосфере зависит прежде всего от подачи в атмосферу водяного пара, т. е. от наличия источников его — водной поверхности, увлажненной почвы, растительности, а также от факторов, влияющих на скорость испарения: температуры воздуха, движения воздушных масс, приносящих запасы влаги из других мест или усиливающих испарение, рельефа и от других факторов.

С высотой давление водяного пара убывает, этот процесс идет настолько правильно, что некоторые авторы устанавливали эмпирические формулы распределения давления водяного пара с высотой.

На каждые 2 км поднятия в горных областях давление водяного пара уменьшается приблизительно в два раза. Количество

водного пара и единице объема с высотой также уменьшается, как это видно из следующей таблицы для Средней Европы (табл. 36).

Т а б л и ц а . 36

Содержание водного пара в воздухе атмосферы в зависимости от высоты над уровнем моря (в г на 1 м<sup>3</sup>)

Высота над уровнем моря (в км)	Время года			
	весна	лето	осень	зима
0	5,7	10,2	7,8	3,0
1	3,8	7,4	5,0	2,4
2	2,2	4,2	2,6	1,2
3	1,6	2,8	1,5	0,7
4	1,0	1,4	1,1	0,4

Из таблицы видно, что во все времена года на уровне 2 км содержится меньше половины, а на уровне 4 км — меньше одной пятой того количества водяного пара, которое имеется у земной поверхности. Содержание водяного пара с высотой убывает очень быстро. Это является результатом низких температур воздуха; водяные пары уже на небольших высотах конденсируются и выпадают на землю в виде осадков.

*Относительная влажность* не имеет такого правильного хода с высотой, как абсолютная влажность.

При малых абсолютных количествах водяных паров степень насыщения в зависимости от температуры может быть велика и иногда достигает 100%. Поэтому, несмотря на быстрое убывание с высотой количества водяных паров, облака могут образоваться на любом уровне.

## 6. Годовой и суточный ход абсолютной и относительной влажности

Суточный ход абсолютной влажности следует за температурой воздуха. Повышение температуры усиливает испарение и поступление водяных паров в воздух. Поэтому максимум абсолютной влажности наблюдается в дневные часы (14—15 часов). Ночью в связи с понижением температуры происходит конденсация водяных паров и абсолютная влажность достигает минимума.

Такой ход абсолютной влажности наблюдается над водной поверхностью, а также над поверхностью снега.

Над почвой в летние месяцы суточный ход абсолютной влажности усложняется возникающими в дневные часы в атмосфере

вертикальными токами — поднятием нагретых масс воздуха вверх и опусканием холодных масс воздуха с меньшим содержанием водяного пара.

В результате такого обмена абсолютная влажность в нижних слоях воздуха в дневные часы понижается; кривая суточного хода имеет два минимума: ранним утром — перед восходом солнца и в 15—16 часов и два максимума — в 8—9 часов и в 20—21 час.

В годовом ходе абсолютная влажность повсюду, за исключением области муссонов и некоторых тропических стран, следует за температурой: минимум наблюдается в январе, максимум — в июле.

Суточный ход относительной влажности воздуха обратен ходу температуры, т. е. минимальные значения наблюдаются в дневные часы, максимальные — ночью.

Формула относительной влажности имеет вид:

$$r = \frac{a}{E},$$

где  $a$  — абсолютная влажность;

$E$  — давление насыщающего водяного пара при заданной температуре.

В дневные часы в связи с повышением температуры усиливается испарение, следовательно,  $a$  возрастает. Однако повышение температуры воздуха повышает значение  $E$  — насыщающих водяных паров. Величина  $E$  увеличивается сильнее, чем  $a$ . Поэтому в действительности в дневные часы (15—16 час.) наблюдаются минимальные значения относительной влажности; максимум относительной влажности наблюдается ночью перед восходом солнца.

Годовой ход относительной влажности воздуха обратен ходу температуры. В летние месяцы наблюдается минимум относительной влажности, в зимние месяцы — максимум. Исключение из этого правила наблюдается в области муссонов на Дальнем Востоке. В летние месяцы здесь господствуют воздушные потоки с океана, которые переносят на материк большие массы водяных паров, увеличивают количество облаков и осадков, понижают температуру. Во Владивостоке максимум относительной влажности 89% наблюдается в июле, минимум 68% — в ноябре.

## 7. Географическое распределение абсолютной и относительной влажности

Географическое распределение водяных паров находится в тесной зависимости от распределения температуры воздуха. Линии равных значений абсолютной влажности идут почти параллельно линиям равных температур (изотермам). Абсолютная влажность возрастает от северных широт к южным. Исключение представляют области пустынь.



В летние месяцы разница значений абсолютной влажности на севере и на юге СССР достигает 6—7 мб. В северных областях абсолютная влажность достигает 12—14 мб, в южных — 17—19 мб.

Относительная влажность в условиях морского климата в течение всего года сохраняет большие значения. Так, на небольших островах, окруженных со всех сторон водой, величина относительной влажности в течение всего года равна 80—90%.

В пустыне при высоких температурах, при отсутствии водной поверхности и растительности относительная влажность местами падает до нескольких процентов. Отметим, однако, что в природной обстановке абсолютно сухого воздуха не бывает.

Как правило, относительная влажность уменьшается от берегов морей внутрь материка.

В летние месяцы на берегах Северного Ледовитого океана относительная влажность 80—90%, в то время как в юго-восточных областях Таджикской ССР она равна 20—30%.

Амплитуда колебаний относительной влажности в условиях морского климата вблизи океанов и морей невелика. В центрах больших материков, где наблюдаются большие колебания температуры воздуха, амплитуда относительной влажности значительна. Например, в Батуми годовая амплитуда относительной влажности воздуха равна 7%. Здесь влажность в течение всего года имеет большие значения, что при наличии высоких температур создает благоприятные условия для растительности. Этот район носит название влажных субтропиков.

В то же время в Узбекистане амплитуда годовых колебаний относительной влажности местами превышает 40%; в зимние месяцы наблюдаются большие значения влажности, летом, наоборот, воздух относительно сухой.

## 8. Испарение

Имеющееся в атмосфере количество водяных паров непостоянно; в каждом данном месте оно или уменьшается в результате конденсации, или увеличивается в результате испарения. Ветер разносит водяные пары по всему земному шару, смягчает переходы от мест с большой влажностью к местам с меньшей влажностью и до некоторой степени выравнивает содержание водяных паров в атмосфере.

Основными источниками водяного пара в атмосфере являются водные поверхности — океаны, моря, большие водоемы и реки, а также поверхность снежного покрова и льда, влажная почва, растения.

В свободной атмосфере испарение идет также с поверхности снежных кристаллов, капель облаков и тумана.

Из всех перечисленных источников водяного пара в атмосфере главный — водная поверхность.

С поверхности Каспийского моря за год испаряется воды более 20 млрд. т.

Между тем поверхность Каспийского моря составляет лишь сотые доли процента водной поверхности земного шара.

Отсюда можно судить, какие огромные массы водяного пара поступают в атмосферу с поверхности океанов и морей и разносятся воздушными течениями вокруг всего земного шара.

*Испарение есть процесс перехода влаги из жидкого состояния в парообразное.*

На испарение, т. е. на отрыв молекул влаги от водной поверхности, а также на увеличение объема влаги при ее переходе в пар необходимо затратить некоторое количество тепловой энергии. Для испарения 1 г воды требуется затратить около 600 кал. Поэтому если испаряющую поверхность не подогревать, то она охлаждается. Количество испарившейся воды измеряется толщиной испарившегося слоя в миллиметрах. Скоростью испарения называется количество воды, испарившейся в единицу времени.

Скорость испарения зависит от дефицита влажности, атмосферного давления, скорости ветра, формы и размеров испаряющей поверхности, ее температуры, солености (если изучается испарение морской воды) и от других факторов.

Для измерения испарения с водной поверхности пользуются приборами различных конструкций, например плавучим испарителем, который представляет собой укрепленный на деревянной раме небольшой сосуд с водой из того же водоёма. Рама свободно плавает на водной поверхности. Периодические измерения уровня воды в испарителе дают возможность определить количество испарившейся воды.

Иногда для этой же цели строят небольшие бассейны с водонепроницаемыми стенками и дном. Уровень воды регистрируется поплавком, соединенным с самопишущими приборами. В 1934 г. бассейн с испаряющей поверхностью свыше 100 м<sup>2</sup> и глубиной 2 м был построен в Нижнем Поволжье, около г. Ершова.

В 1948 г. бассейн с испаряющей поверхностью 100 м<sup>2</sup> и глубиной 1,45 м был построен в Валдайской гидрологической лаборатории. Там же был построен бассейн с испаряющей поверхностью 20 м<sup>2</sup>, глубиной 1,4 м. Велись также наблюдения с испарителями различных систем меньшего размера.

В результате этих измерений были получены следующие выводы<sup>1</sup>:

а) 100-метровый бассейн дает величины испарения несколько больше, чем 20-метровый;

<sup>1</sup> В. А. У р ы в а е в, Экспериментальные гидрологические исследования на Валдае. Гидрометеиздат, Л., 1953.

б) величины испарения с водной поверхности, измеряемые в одном месте, но с помощью испарителей разных размеров, конструкций и при разных способах их установки, варьируют в *очень больших пределах*. В условиях Валдайской лаборатории эти различия показаний испарителей за отдельные месяцы достигали 400%.

в) распространенные на сети станций стандартные испарители ГИ-3000 дают данные, довольно сходные с данными наблюдений над 200-метровым бассейном, с величинами средних отклонений в условиях Валдайской лаборатории 10—15% в сторону *увеличения*;

г) огромное влияние на показание испарителя имеет степень его защищенности от ветра. При достаточно большой защищенности испарителя растительностью, несмотря на свободный доступ к нему солнечных лучей, испарение составляет лишь 60—70% нормального.

Из этих измерений можно сделать вывод: посадки лесных полос вокруг малых водоемов существенно уменьшают величину испарения с них.

## 9. Испарение с поверхности почвы

Вторым источником водяных паров в атмосфере является снежный покров и поверхность почвы, испарение с которых идет непрерывно.

Испарение с поверхности почвы — одно из слагаемых водного баланса почвы, определяющее влагообеспеченность полевых культур. Поэтому, несмотря на то, что в общем влагообороте испарение с почвы имеет гораздо меньшее значение, чем испарение с водных поверхностей, его следует изучить более детально.

Измерить величину испарения с поверхности почвы трудно, так как испарение зависит от многих факторов, которые в естественных условиях воздействуют одновременно, взаимно усиливаются или ослабляются.

На величину испарения оказывает влияние, например, состояние почвы и прежде всего ее механический состав. Еще в конце прошлого столетия (1893) появились классические исследования А. А. Измаильского «Как высохла наша степь» и работа П. А. Костычева «О борьбе с засухами». В них было показано, что испарение с поверхности почвы резко уменьшается, если пахотный слой почвы имеет комковатое строение. В этом случае выпадающие осадки довольно легко проникают в почву, обратное поднятие воды и, следовательно, испарение ее затруднено тем, что между отдельными комками имеются ходы большого размера, препятствующие капиллярным перемещениям воды.

Наоборот, порошокобразная или пылеватая структура почвы вызывает усиленное испарение с поверхности почвы и усиленное

высыхание ее. Комки имеют известную прочность и могут быть размыты только длительными и интенсивными дождями. В этом случае поле покрывается коркой, способствующей подтягиванию влаги к поверхности почвы и быстрому ее высыханию. Такая корка образуется песной на почве, вспаханной с осени. Поэтому после просыхания и уплотнения корку стремятся как можно скорее разрушить.

Таким образом, структура почвы оказывает существенное влияние на величину испарения с поверхности почвы. Это основное положение в последующие годы было подтверждено другими авторами.

На величину испарения оказывает влияние растительный покров. При наличии растений почва испаряет гораздо сильнее, чем такая же почва без растений. Корневая система различных растений достигает разной глубины, поднимает в верх большое количество влаги из разных горизонтов и испаряет ее через листовую поверхность.

Величина испарения с поверхности почвы зависит также от количества имеющейся в ней влаги.

На влажность почвы большое влияние оказывают рельеф и микрорельеф местности, так как они способствуют стоку или задержанию осадков и талых вод. Большое влияние на влагосодержание почвы оказывает также характер обработки, которая в разной степени может содействовать проникновению воды в почву. Рядом расположенные поля могут иметь разные запасы влаги и разную величину ее испарения.

На величину испарения с поверхности почвы и растения существенное влияние оказывают метеорологические условия и прежде всего дефицит влажности, ветер, температура воздуха, солнечная радиация, температура почвы, давление воздуха, а также рельеф и другие факторы.

К. А. Тимирязев, касаясь величины испарения с растений, описал опыты Визнера, которые показали, что «даже при скорости 3 метров в секунду, которую метеорологи обозначают выражением «слабого» ветра, испарение возрастало в 2—3 раза, иногда и 20 раз».

Испарение с растения зависит от цвета испаряющего органа, от тех лучей, которые на него падают, и от температуры. Основными факторами, влияющими на испарение с растений, по мнению К. А. Тимирязева, являются влажность воздуха, ветер и солнечное нагревание. Те же метеорологические факторы действуют и на испарение с поверхности почвы.

Большое значение имеют ориентировка и наклон поля, определяющие его солнечный и температурный режим, а также влажность почвы и величина испарения.

На величину испарения влияет также цвет почвы: темные почвы сильнее нагреваются и сильнее испаряют.

Растительный покров почвы увеличивает общее испарение, а мертвый покров защищает почву, уменьшает действие ветра и температуру и в результате ослабляет испарение с почвы.

Таким образом, количество факторов, оказывающих влияние на испарение с поверхности почвы и растительного покрова, велико и разнообразно. Все они действуют одновременно и взаимосвязанно; действие каждого из перечисленных факторов непостоянно, оно зависит от наличия и интенсивности других факторов.

## 10. Методы измерения испарения с поверхности почвы

Для измерения испарения с поверхности почвы применяются различные приборы.

Испаритель гидрологического института (ГГИ-500) состоит из цилиндра с приемной поверхностью 500 см<sup>2</sup>. Высота ведра 50 см, дно съемное, имеет отверстия диаметром 2 мм. Дно крепится к цилиндру тремя защелками. Вес цилиндра с почвой около 50 кг. Футляр, в который вставляется испаритель, рекомендуется закапывать в землю так, чтобы верхняя кромка была выше уровня земли на 1,5 см. В нижнюю часть футляра закладывается водосборный сосуд высотой 3 см, который собирает воду, просачивающуюся через пробу почвы. В испаритель закладывают пробу почвы, которую меняют один или два раза в месяц.

Рядом с испарителем рекомендуется устанавливать в почву дождемер, выступающий над поверхностью почвы на 12 см. Приемная поверхность дождемера 500 см<sup>2</sup>.

Так как борт испарителя превышает поверхность земли на 1,5 см, а борт дождемерного ведра — на 12 см, при значительной скорости ветра оба измерения могут оказаться неточными, но в неодинаковой степени. Чем больше скорость ветра, тем больше неточность.

М. И. Будыко указал, что большое искажающее влияние на показание испарителя оказывает изоляция почвенного монолита от нижележащих слоев почвы.

Проба почвы в испарителе, не получая воду от соседних слоев сбоку и снизу, как это бывает в естественных условиях, подсыхает и через небольшой промежуток времени дает искаженные величины испарения. Отделить первоначальные правильные величины испарения от последующих неправильных очень трудно.

При разработке конструкции испарителя можно исходить также из других соображений: каждая вырезанная проба почвы в первый промежуток времени дает правильную величину испарения, совпадающую с величиной испарения окружающей поверхности почвы. Через некоторое время проба, не получая воды от окружающих слоев почвы, становится более сухой, чем окружающая

почва, и начинает давать неправильные величины испарения. Чем больше высыхает проба, тем более искаженные величины испарения она дает.

Следовательно, при работе с испарителем следует использовать тот краткий начальный промежуток времени, в течение которого взятая проба дает правильную величину испарения, а затем заменить эту пробу новой.

Если исходить из этого принципа, то конструкция испарителя может быть следующей.

Открытый металлический цилиндр (рис. 47) с одного конца имеет заточенную кромку и вблизи нее полукруговую щель, в которую закладывается круглый диск, представляющий собой полукруговой нож. Диск, заложенный в щель цилиндра, может служить его дном. Размеры, диаметр и высота цилиндра могут быть различными в зависимости от поставленной задачи. Цилиндр для удобства работы имеет дужку.

Измерение с таким испарителем проводится следующим образом. Цилиндр врезают в почву до верхней кромки и землю из цилиндра отбрасывают в сторону. За дужку цилиндр вынимают из почвы; в ней остается углубление. Затем берут пробу почвы. Для этого цилиндр снова углубляют в почву и очищают его от земли с наружной стороны; в щель вводят диск, который отрезает пробу почвы, находящуюся в цилиндре.

Цилиндр вместе с взятой пробой вынимают и помещают в заготовленное ранее углубление.

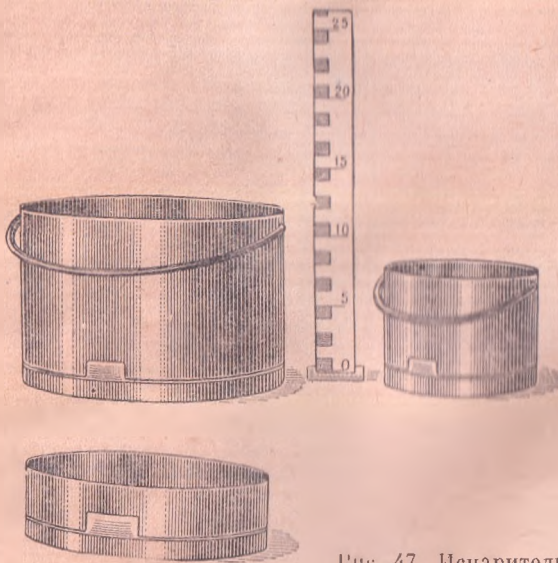


Рис. 47. Испарители.

Затем цилиндр с пробой почвы через каждые два часа взвешивают, и почные часы навешивание можно проводить один раз. Через сутки влажную пробу заменяют сухой.

Если метеорологические условия в течение дня изменялись без резких скачков, погода была одинаковой, то испарение с поверхности влажной пробы должно идти пропорционально времени и графически выразиться прямой линией. Если график количества испарившейся воды в зависимости от времени имеет изгибы, то это означает, что или изменились метеорологические условия и изменили интенсивность испарения, или изменилась сама проба (например, высохла).

Такие результаты измерения должны быть исключены. Эти материалы могут быть использованы только при изучении влияния метеорологических факторов на испарение с поверхности почвы или изменений физических свойств испаряющей почвы.

На указанном выше принципе автором был построен испаритель, а также самопишущий испаритель (рис. 47 и 48); его записи показали, что испаряющая проба в течение суток не теряет свойств

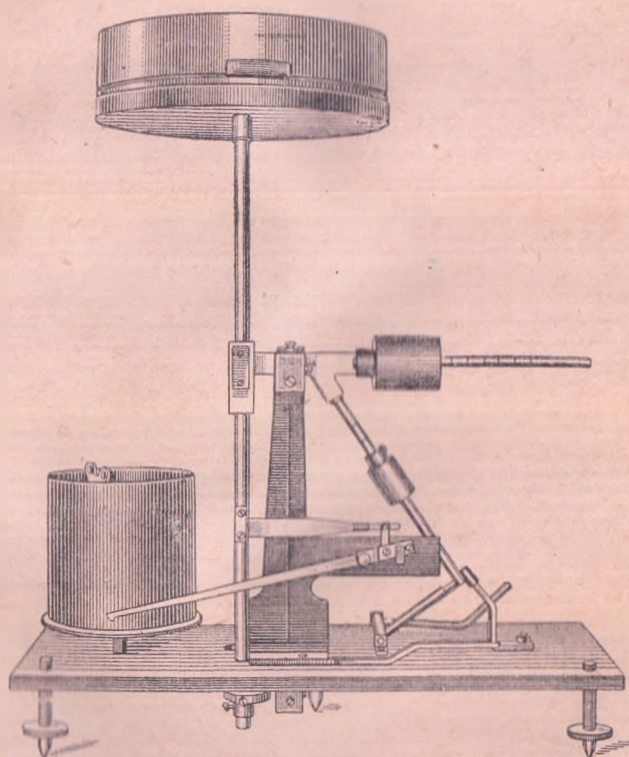


Рис. 48. Самопишущий испаритель.

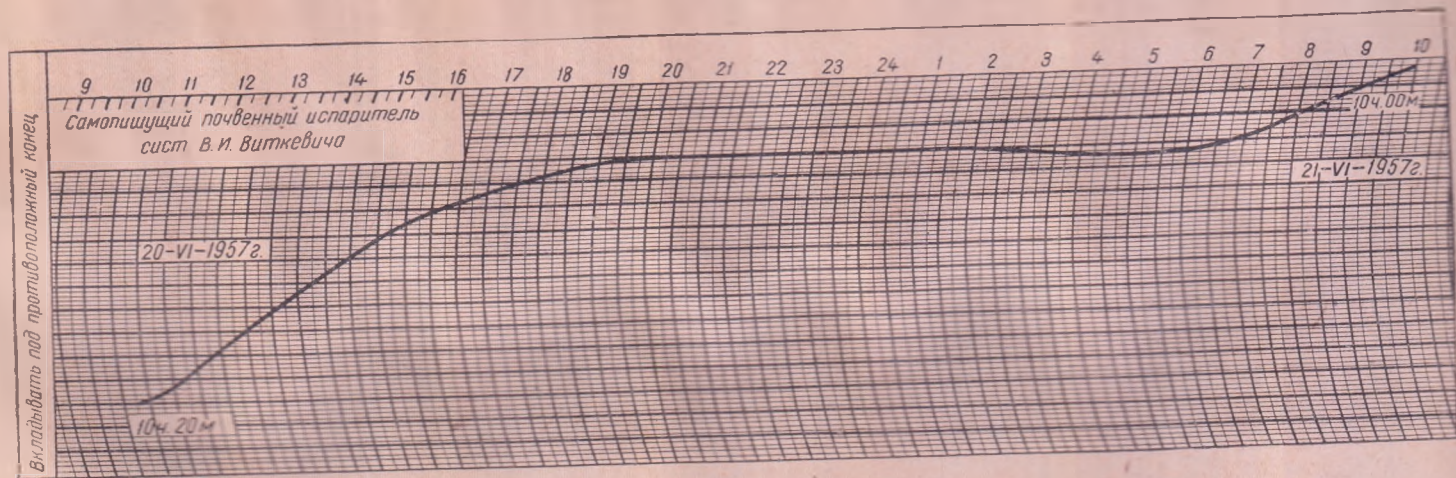


Рис. 49. Запись веса испаряющей пробы почвы за сутки.



почвы, на которой она вырезана, и дает настоящую величину испарения. Тем не менее через сутки пробу необходимо менять. На рисунке 49 дана запись веса испарившейся пробы. По этой кривой легко рассчитать количество испарившейся воды за каждую единицу времени и начертить кривую испарения.

Описанный метод измерения более трудоемкий, чем в случае измерений с испарителями других конструкций, но дает правильную величину испарения с поверхности почвы. Имея данные действительного испарения с поверхности почвы, легко изучить влияние на испарение различных метеорологических факторов, различных методов обработки почвы, ее структуры и состава, глубины вспашки, влагосодержания, оборота пласта и др.

Вырезая пробы почвы с растениями, можно получить данные о суммарном испарении растений и почвы, на которой они произрастают.

Имея данные действительного испарения, можно проверить и тарировать более простые приборы и проконтролировать другие методы измерения, а также проверить любую теоретическую формулу.

## 11. Испарение с поверхности растений

Одним из источников подачи водяного пара в атмосферу является растение, с поверхности которого происходит непрерывное испарение. Корневая система растения высасывает влагу из почвы и испаряет ее через листовую поверхность. Испарение имеет двойное значение для растений. Во-первых, вода, поднимаемая из почвы, представляет собой раствор различных минеральных солей, которые служат для питания и роста растений; во-вторых, испарение с поверхности растения понижает его температуру. Чтобы избежать перегрева в дневные, полуденные часы, растение вынуждено испарять огромные количества воды.

*Количество воды, необходимое растению для образования одной весовой единицы сухого вещества растительной массы, называется транспирационным коэффициентом.*

Очевидно, однако, что количество испарившейся воды зависит не от массы (тем более сухого вещества), а от величины, формы и расположения испаряющей поверхности.

При одной и той же массе сухого вещества испаряющая поверхность растения и величина испарения могут быть самыми разнообразными.

Таким образом, транспирационный коэффициент растения одного вида и сорта несравним с таким же коэффициентом растения другого вида или сорта. Чтобы сравнивать испаряющую способность растений, следовало бы сравнивать количество испарившейся воды, а не отношение этой величины к сухому весу растений.

Так как растение во время вегетации находится в различных фазах своего развития и непрерывно взаимодействует с окружающей средой, величина транспирационного коэффициента не остается постоянной, она изменяется в довольно больших пределах. Известно, например, что зерновые культуры в начале вегетационного периода испаряют в 5—10 раз больше, чем в период молочной спелости; при приближении к созреванию довольно резко снижается потребность растения в воде.

Величина транспирационного коэффициента зависит не только от природы растения и его сорта, от состояния растения и фазы его развития, но и от климатических условий местности и состояния внешней среды — атмосферы, почвы, солнечной радиации.

Повышение дефицита влажности и температуры воздуха влечет за собой усиление испарения. При солнечном свете испарение с растений также усиливается, при рассеянном свете и в темноте — ослабевает.

На испарение большое влияние оказывает ветер; он непрерывно относит от растения слои воздуха, обогащенные водяными парами, заменяет их более сухими и таким образом усиливает испарение.

Предположение, что коэффициент транспирации неизменен и может быть охарактеризован каким-то одним числом, означало бы неизменность самого растения и независимость его от условий внешней среды, что противоречило бы основным законам современной биологии.

Для транспирационного коэффициента можно указать только пределы, в которых наблюдались его изменения для каждой культуры. В таблице 37 даны значения транспирационного коэффициента для некоторых культур.

Таблица 37

Транспирационный коэффициент

Культура	Пределы колебаний значений транспирационного коэффициента
Горох	292—416
Ячмень	310—774
Гречиха	371—646
Овес	402—665

Данные таблицы показывают, что, например, для образования 1 г сухого вещества гороха корневая система его должна взять из почвы, а листовая поверхность испарить в зависимости от условий 292—416 г воды.

Следует отметить, что величина транспирационного коэффициента, как правило, определяется биологами не в полевых, есте-

ственных для данного растения условиях, а в вегетационных сосудах и в искусственно созданных условиях внешней среды. Поэтому полученные числовые значения транспирационного коэффициента в известной степени не соответствуют действительности.

## 12. Влияние влажности почвы и скорости ветра на величину испарения с поверхности почвы

Наблюдений над величиной испарения с поверхности почвы и с поверхности растений мало. Поэтому пока приходится ограничиться результатами отдельных измерений и только некоторыми общими положениями.

На величину испарения с поверхности почвы, как было указано выше, влияют многие факторы, и расчленить их очень трудно. Приведем некоторые результаты измерений, проведенных нами в Петровско-Разумовском, на кафедре сельскохозяйственной метеорологии ТСХА (табл. 38). Измерения проводились описанным выше испарителем с поверхности 125 см<sup>2</sup>. Скорость ветра записывалась на высоте 15 см от почвы вблизи испарителя при помощи анемометра конструкции автора.

Таблица 38

Испарение с поверхности почвы

Влажность почвы (в %)	10—15			15—20			20—26		
	Метеорологические условия								
Средняя скорость ветра от 10 до 16 час. (в м/сек)	0—1	1—2	2—3	0—1	1—2	2—3	0—1	1—2	2—3
Среднее испарение за 1 час от 10 до 16 час. (в г)	1,9	2,0	2,1	2,4	2,9	3,6	3,4	4,0	4,6
Наращение испарения при переходе от одной градации скорости ветра к другой	5	5		20	24			18	15

Таблица показывает, что возрастание влажности почвы влечет за собой увеличение скорости испарения. При влажности почвы 10—15% количество испарившейся воды было 1,9—2,1 г; при влажности почвы 15—20% — 2,4—3,6 г, наконец, при влажности

почвы 20—26% количество испарившейся воды было 3,4—4,6 г. Таким образом, влажность почвы оказывает значительное влияние на количество испарившейся воды. Из таблицы можно видеть также влияние скорости ветра на испарение. При всех значениях влажности почвы усиление скорости ветра вызывает увеличение количества испарившейся воды. Например, если влажность почвы 20—26%, то при скорости ветра до 1 м/сек испарение равно 3,4 г; при скорости ветра 2—3 м/сек количество испарившейся воды составляло 4,6 г, т. е. увеличилось на 35%. Отметим, что при малой влажности почвы (10—15%) увеличение скорости ветра мало влияет на количество испарившейся воды; при скорости ветра до 1 м/сек испарение равно 1,9 г; при скорости 2—3 м/сек количество испарившейся воды равно 2,1 г, т. е. увеличение всего на 0,2 г, или на 11%.

Эти числа показывают, что влияние на испарение влажности почвы и скорости ветра непостоянно, а зависит одно от другого: повышение влажности почвы усиливает влияние скорости ветра. Это видно и из последней графы таблицы: при влажности почвы 10—15% усиление скорости ветра от 0—1 до 1—2 м/сек влечет за собой увеличение испарения на 5%; если же влажность почвы 15—20%, то при том же усилении ветра испарение повышается на 20%.

### 13. Суточный и годовой ход испарения

*В суточном* ходе испарение следует за дефицитом влажности, который, в свою очередь, следует за температурой.

В дневные часы с повышением температуры воздуха относительная влажность уменьшается, дефицит влажности увеличивается, испарение усиливается. В ночные часы вследствие понижения температуры воздуха и дефицита влажности испарение ослабевает и даже может возникнуть обратный процесс — конденсация водяного пара. На рисунке 49 показана типичная кривая изменения веса почвенной пробы, от 3 до 6 часов вес пробы увеличивается (кривая понижается) вследствие процесса конденсации.

*В годовом* ходе испарение также следует за дефицитом влажности. Чем больше дефицит влажности, тем сильнее идет испарение; иначе говоря, в летние месяцы испарение достигает максимальных значений, а в зимние — минимальных.

### 14. Конденсация водяных паров

Процесс перехода водяного пара в жидкое состояние называется *конденсацией*. Возможен также переход водяного пара сразу в твердое состояние; в этом случае происходит с у б

и и м а ц и и пара. При конденсации выделяется скрытая теплота, которая раньше была затрачена на испарение, около 600 кал/г; при переходе из жидкого состояния в твердое выделяется «теплота плавления» 80 кал/г. При сублимации всего выделяется около 680 кал/г.

Понижение температуры воздуха, повышение содержания в нем водяных паров или одновременное воздействие обоих процессов приводят к тому, что водяные пары в данном объеме воздуха будут насыщающими. Дальнейшее понижение температуры или повышение содержания водяного пара приведет к перенасыщению и возникновению процесса конденсации водяных паров. Следовательно, для возникновения конденсации необходимо, чтобы воздух был насыщен водяным паром и шел дальнейший процесс подачи водяного пара или понижения температуры.

Чтобы возникла конденсация, необходимо еще одно условие — наличие в атмосфере «ядер конденсации». Они представляют собой мельчайшую пыль неорганического происхождения, размельченную почву, мельчайшие песчинки, кристаллики солей; среди них особенно важными являются частицы гигроскопических веществ. Ядрами конденсации могут быть также бактерии, вирусы, пыльца растений и другие мельчайшие организмы.

Вокруг этих частиц образуется мельчайшая зародышевая капля, которая в последующем растет.

Ядро облегчает конденсацию потому, что при осаждении молекул водяного пара на пылинке капля сразу приобретает известный, сравнительно большой объем. Если бы ядра не было, образующаяся капля должна была бы пройти через начальные, исключительно малые объемы, при которых она имеет очень большую способность к испарению и поэтому не может начать расти.

Упругость насыщающего пара зависит от кривизны поверхности, над которой пар находится. Над выпуклой поверхностью она больше, а над вогнутой меньше, чем над плоской. Одно и то же количество водяного пара в воздухе над малой каплей, имеющей большую кривизну, будет ненасыщающим, а над большой каплей (тем более над плоской поверхностью) — перенасыщающим. Поэтому малые капли быстро испаряются. Это выражается следующей формулой:

$$\lg \frac{E_1}{E} = \frac{C_1}{r},$$

где  $E_1$  — упругость насыщения над поверхностью, имеющей радиус кривизны  $r$  (в частности, над каплей с радиусом  $r$  см);

$E$  — упругость насыщающих водяных паров над плоской поверхностью;

$C_1$  — величина, зависящая от температуры; при  $0^\circ$  она равна  $0,52 \cdot 10^{-7}$ , при  $20^\circ$  равна  $0,47 \cdot 10^{-7}$ .

Формула показывает, что с уменьшением радиуса капли упругость насыщающих паров быстро возрастает.

В таблице 39 даны результаты вычислений по приведенной выше формуле.

Т а б л и ц а 39

Величина перенасыщения, необходимая для того, чтобы капля радиусом  $r$  оставалась в устойчивом состоянии (упругость насыщения над плоской поверхностью принимается равной 100%)

Радиус капли (в см)	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
Величина перенасыщения (в %)	1	13	231

Из таблицы видно, что величина необходимого перенасыщения с уменьшением радиуса капли возрастает чрезвычайно быстро. Чтобы каплю очень малого размера удержать в устойчивом состоянии, необходимы очень большие перенасыщения, которые в естественной обстановке не встречаются. В этих условиях помогает ядро конденсации, благодаря которому капля сразу приобретает некоторый объем и устойчивость и служит центром дальнейшей конденсации.

Рассмотрим теперь различные гидрометеоры, образующиеся в результате конденсации водяного пара.

### 15. Роса, иней

В ясную безоблачную ночь тепловой баланс земной поверхности отрицательный. Расход тепла излучением превышает приход тепла от встречного излучения атмосферы. В результате земная поверхность охлаждается и охлаждает прилегающий слой воздуха. Если температура понизится ниже точки росы, начинается конденсация водяных паров, выделяется роса.

Если точка росы отрицательная и конденсация происходит при отрицательной температуре, образуется иней, состоящий из ледяных кристаллов. Роса прежде всего образуется на шероховатых поверхностях, например на траве, которая сильно излучает и имеет наиболее низкую температуру, а также на листьях деревьев, на поверхности почвы, на камнях и т. п.

На образование росы и ее количество оказывают влияние многие факторы: в первую очередь радиационный баланс, температура и влажность воздуха, ветер, тепловые свойства и форма излучающей поверхности и др.

Наблюдения, проведенные на разных уровнях от земной поверхности, показали, что количество образовавшейся росы в при-

земном слое воздуха может с высотой увеличиваться или уменьшаться. Это, очевидно, зависит от распределения по вертикали температуры воздуха и скорости изменения ее на каждом уровне.

За ночь количество оседающей росы может составить слой воды толщиной 0,1—0,5 мм. За год количество влаги, выделяемое росой, достигает не более 30—40 мм. Воздух среди растений всегда содержит больше водяного пара; поэтому роса или иней, выпадающие на растительном покрове, всегда бывают обильными. В тропиках роса за ночь может дать слой воды до 3 мм.

На процессе образования росы оказывает влияние ветер. Если ветер имеет малую скорость, то он к каждому предмету, на котором осаждается роса, подводит все новые и новые запасы водяного пара и увеличивает количество ее. При большой скорости ветер препятствует образованию росы, так как не дает прилегающим к земле массам воздуха достаточного времени для соприкосновения с землей и охлаждения.

Роса имеет большое сельскохозяйственное значение прежде всего потому, что при выпадении ее выделяется скрытая теплота парообразования и резко замедляется понижение температуры воздуха. Своевременное выпадение росы может предотвратить наступление заморозка, остановить понижение температуры.

Кроме того, как ни малы количества осадков, доставляемых росой, все же они могут иметь большое значение, особенно в периоды бездождья или в местах с малыми суммами осадков, например в южных и юго-восточных областях. Растения, которые к концу жаркого и сухого дня завяли, под влиянием росы часто восстанавливают свой тургор и свою жизнедеятельность.

Иней может возникать не только ночью, но и днем при малой высоте солнца, особенно в затененных местах.

## 16. Изморозь

После длительного периода сильных морозов все предметы, деревья, кусты, камыши, столбы, почва оказываются сильно охлажденными. Если в таких условиях начинает дуть ветер, который несет теплые, насыщенные водяными парами массы воздуха, то на всех охлажденных предметах может выделиться значительное количество рыхлого льда в виде длинных, легко осыпавшихся ледяных игл, нитей, кристаллов, образуется так называемая изморозь; она может осаждаться на деревьях, хвое, сухой траве, кустах, проводах (рис. 50).

Количество изморози на ветвях деревьев может быть очень значительным. Изморозь может образоваться также, если капли переохлажденного тумана, двигаясь с ветром, осаждаются на всех предметах и немедленно замерзают; образуется так называемая зернистая изморозь, которая в горных странах может дать отло-

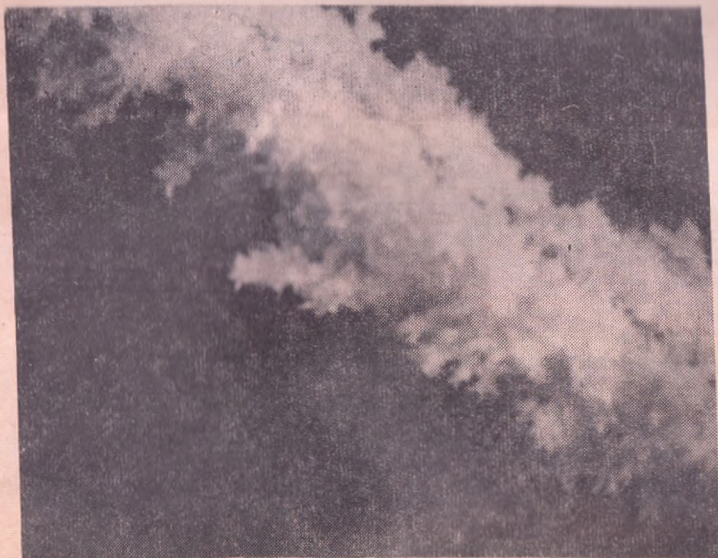


Рис. 50. Изморозь.

жения толщиной до 1 м. Она отлагается преимущественно с наветренной стороны.

Иногда изморозь имеет вид пластинчатых или призматических кристаллов. Она отлагается при слабом ветре с наветренной стороны предметов и легко осыпается. Количество осадков, получаемое растительностью в виде изморози, в отдельных случаях может превышать зарегистрированное количество осадков; растительность извлекает из воздуха гораздо большее количество влаги, чем количество, учитываемое дождемерами.

Изморозь содержит гораздо больше аммиака, чем туман, дождь, снег, и вследствие этого обогащает почву азотом.

### 17. Гололед

Нередко на поверхности почвы и разных предметов образуется лед в виде гладкого и прозрачного слоя, появивающегося преимущественно на их наветренной стороне; это явление называется гололедом, или ожеледью.

Гололед образуется, если капли дождя или мороси оказываются переохлажденными; попадая на различные предметы, они немедленно замерзают и образуют слой льда, который непрерывно растет. Гололед образуется на растениях, на поверхности земли, на ветвях деревьев (рис. 51). Под тяжестью льда сучья деревьев





Рис. 51. Обледенение.

ломаются. С небольшого деревца собирали 150 кг льда и больше. Тонкий стебель травы, имеющий вес 12 г, покрытый льдом, весил 300 г. На поверхности почвы также иногда образуется слой льда значительной толщины. На отгонных настигах такой гололед на земной поверхности может вызвать джукт — массовый падеж скота. Причиной бескормицы зимой является образование на почве мощной ледяной корки или большие снегопады, образующие

высокий снежный покров. В обоих случаях животное не в состоянии добыть на поверхности земли пищу и погибает<sup>1</sup>.

Условия, вызывающие джукт, наблюдаются в Средней Азии, Буритской АССР, Казахстане, в Закавказье, в Дагестане и Северной Осетии, в Прикаспийских областях и других местах.

Борьба с джутом состоит в том, чтобы на местах предполагаемого выгона и зимовки скота приготовить помещения для людей, крытые загоны и помещения для скота; там же создать страховые запасы кормов. В трудных условиях, возникших внезапно, существенную помощь может оказать вертолет.

Гололед может образоваться также в результате выпадения дождя на охлажденную поверхность земли. На горах ледяные отложения могут быть особенно велики. Здесь слои образовавшегося льда часто достигают большой толщины. Об этом следует помнить при постройке зданий на отгонных пастбищах: все здания для людей должны иметь выходы не только со всех сторон, но и через крышу. Внутри здания должны быть кирка, лом, топор и другие орудия для раскалывания льда.

## 18. Туман

В нижних слоях атмосферы нередко наблюдается скопление мельчайших водяных капелек или ледяных кристалликов, при этом уменьшается видимость; если она меньше 1 км, то явление называется туманом.

Причины образования тумана разнообразны. Например, туман может образоваться при сильном охлаждении поверхности почвы ночным излучением в ясную погоду; это так называемые радиационные туманы, образующиеся ночью или в ранние утренние часы. Они стелются по земле тонким слоем, образуются преимущественно над сильно увлажненными болотистыми местами или в низинах, куда охлажденный воздух скатывается по склонам. В дневные часы такие поземные туманы обычно рассеиваются.

Туман может образоваться также в результате перемещения (адвекции) тепловых воздушных масс над холодной подстилающей поверхностью. Охлаждение воздуха передается турбулентным перемешиванием от подстилающей поверхности снизу вверх. Такого рода адвективные туманы при наличии в теплом воздухе большого количества влаги могут достигать большой мощности и охватывать обширные площади.

Поздней осенью вода в реках и озерах может быть теплее воздуха. С поверхности водоема вода испаряется в более холодный,

<sup>1</sup> В летнее время джукт возникает вследствие быстрого преждевременного выгорания травы и невозможности быстро перенести скот на другие пастбища.

прилегающий к ней слой воздуха, в результате происходит перенасыщение этого слоя водяными парами и образование тумана. Возможны и другие причины образования тумана, например смешение двух воздушных масс, имеющих разную температуру и влажность.

Если процессы конденсации происходят на известной высоте, то образуются облака. Любая поднимающаяся вверх воздушная масса испытывает *адиабатическое охлаждение*. Если такое поднятие продолжается достаточно долго, то температура достигает «точки росы» и при дальнейшем поднятии происходит конденсация, образуются облака.

### 19. Конденсация при смешении различных воздушных масс

Конденсация водяных паров в атмосфере может произойти при смешении воздушных масс, близких к насыщению водяными парами, но имеющих разную температуру.

Пусть в  $1 \text{ м}^3$  воздуха при  $0^\circ$  содержится 4 г водяного пара; во втором таком же объеме воздуха при  $30^\circ$  содержится 30 г водяного пара, т. е. в каждом из них удельная влажность близка к насыщению.

Если смешать эти два объема воздуха, то температура смеси будет  $(0^\circ + 30^\circ) : 2 = 15^\circ$ ; на каждый  $\text{м}^3$  теперь приходится  $(4 + 30) : 2 = 17$  г водяного пара, но при  $15^\circ$  для насыщения  $1 \text{ м}^3$  воздуха требуется только 12,8 г водяного пара; излишек его  $17,0 - 12,8 = 4,2$  г должен сконденсироваться, в результате чего образуется туман.

Приведенный расчет неточен, так как при конденсации выделяется скрытая теплота парообразования.

### 20. Конденсация водяного пара при адиабатическом охлаждении воздушной массы

В свободной атмосфере воздушная масса может охладиться не только в результате излучения своего тепла к более холодной массе земли или смешения с другой массой; она может охлаждаться также адиабатически при перемещении вверх.

Любая воздушная масса, поднимающаяся вверх, попадает в окружение воздуха с меньшей упругостью. Поэтому она будет непрерывно расширяться, выравнивая свою упругость с упругостью окружающего воздуха. Расширение — работа, на которую необходимо затратить некоторое количество энергии; единственный источник ее — внутренняя энергия газа. Поэтому при поднятии воздушная масса затрачивает часть своей тепловой энергии на работу расширения и в результате на каждые 100 м поднятия понижает свою температуру на  $1^\circ$ .

При величина падении температура наблюдается в том случае, если процесс происходит адиабатически, т. е. без теплового обмена с внешней средой, и носит название вертикального адиабатического градиента. Он сохраняет свою величину до тех пор, пока сохраняется адиабатичность и нет другого процесса, который бы ее нарушал. Непрерывное понижение температура поднимающейся массы воздуха неизбежно приводит к тому, что будет достигнута температура точки росы. Дальнейшее поднятие воздушной массы будет сопровождаться конденсацией, образованием облаков и выделением скрытой теплоты парообразования, падение температуры на каждые 100 м поднятия будет меньше 1°. Таким образом, поднятие воздушных масс вверх, если оно продолжается достаточно высоко, неизбежно приводит к образованию облаков.

Внешний вид облаков, их масса, плотность, структура, высота расположения, протяженность и другие свойства зависят от многих условий и могут быть разнообразными; облака характеризуют физические процессы, которые происходят в атмосфере и определяют характер предстоящей погоды.

Поэтому облака, их форма и свойства должны быть рассмотрены более подробно.

## 21. Облака

По простейшей классификации облака подразделяются на 10 основных форм. В качестве отличительного признака при определении форм облаков используется их внешний вид и структура. В зависимости от высоты нижней границы облаков их относят к одному из трех ярусов: верхнему, среднему или нижнему. Кроме того, особо выделяются облака вертикального развития, основание которых может находиться в нижнем ярусе, а вершина — в верхнем.

Сначала дадим общую схему классификации облаков, а затем более детальное описание каждой формы.

### Классификация облаков

I класс. Облака верхнего яруса

Высота основания выше 6 км

1. Перистые Cirrus
2. Перисто-кучевые Cirro-cumulus
3. Перисто-слоистые Cirro-stratus

Условное обозначение

Ci

Cc

Cs

II класс. Облака среднего яруса

Высота основания от 2 до 6 км

4. Высококучевые Alto-cumulus
5. Высокослоистые Alto-stratus

Ac

As

III класс. *Облака нижнего яруса*

Высота основания ниже 2 км

- |                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 6. Слоистые Stratus               | St |
| 7. Слоисто-кучевые Strato-cumulus | Sc |
| 8. Слоисто-дождевые Nimbo-stratus | Ns |

IV класс. *Облака вертикального развития*

Нижнее основание на высоте 0,5—1,5 км

- |                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 9. Кучевые Cumulus                | Cu |
| 10. Кучево-дождевые Cumulo-nimbus | Cb |

Кроме этих основных форм облаков, существуют и другие разновидности, отличающиеся по форме, плотности, окраске, световым явлениям и пр.

Рассмотрим теперь отдельные формы облаков.

**Перистые облака** (рис. 52) состоит из тонких серебристых нитей, иногда запутанных в виде растрепанного клубка или выходящих в обе стороны из одной более плотной полосы. В этом случае они напоминают гусиные перья, откуда и произошло название этого вида облаков. Иногда они имеют вид длинных параллельных тонких полос с загнутыми концами или вид рядов, как бы выходящих из одного удаленного центра. Это сходжение является результатом перспективы; на самом деле облачные полосы идут параллельно друг другу. Бывают, однако, случаи, когда видимая

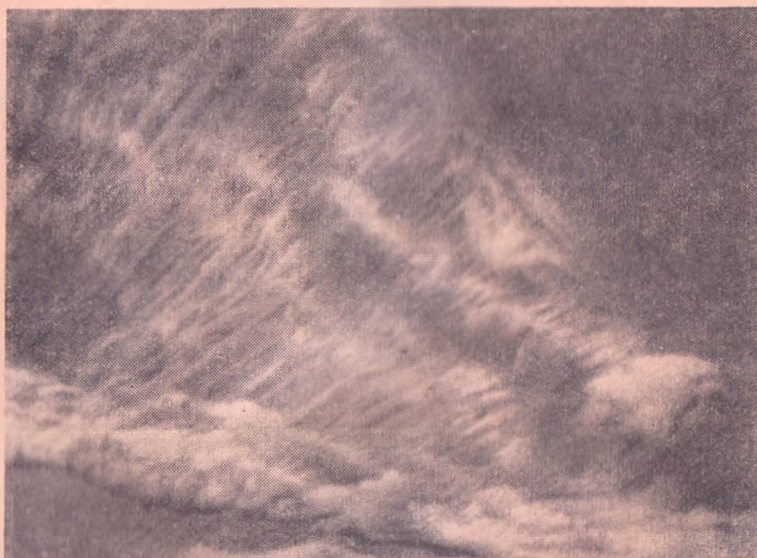


Рис. 52. Перистые облака



Рис. 53. Перисто-кучевые облака.

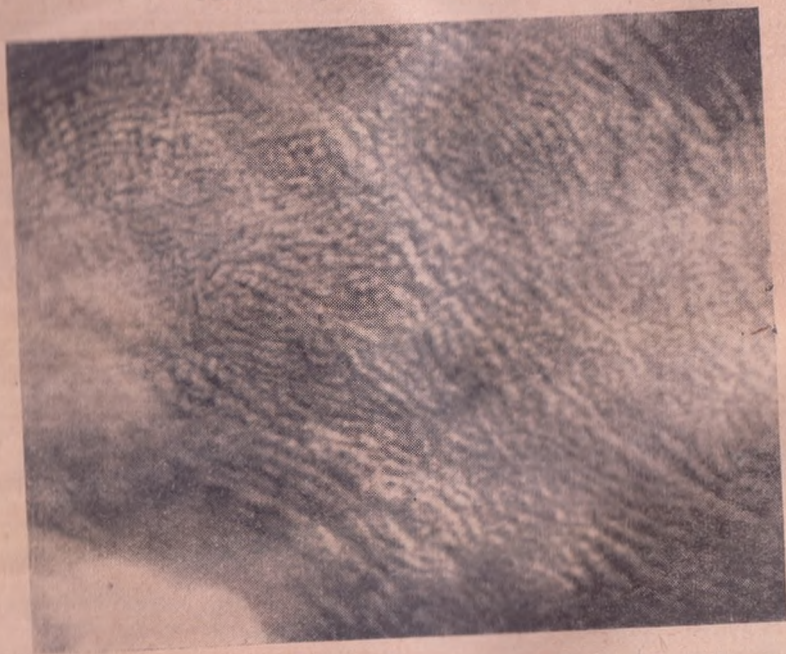


Рис. 54. Перисто-кучевые облака.



Рис. 55. Перисто-слоистые и перисто-кучевые облака.

сходимость отдельных гряд облаков есть результат выхода их из сплошного, удаленного, уходящего за горизонт облака, так называемой базы. В этом случае перистые облака обладают заметной на глаз скоростью перемещения и предвещают продвижение вслед за ними сплошных облаков более низких форм.

Перистые облака имеют малую мощность и в малой степени ослабляют солнечную радиацию.

В этих облаках наблюдается оптическое явление гало — круг около солнца или луны. Он образуется в результате преломления



Рис. 56. Перисто-слоистые облака.

и отражения световых лучей, проходящих через перисто-слоистых облаков, состоящих из кристаллов. Обычно радиус гало виден под углом  $22^\circ$ ; наблюдаются также гало радиусом  $46^\circ$ . Гало слегка окрашено, при этом красный свет располагается ближе к солнцу. Наблюдаются также бесцветные горизонтальные круги; при пересечении его с кругом, расположенным вокруг солнца, наблюдаются особо светлые пятна — «ложные солнца», иногда «столбы». Иногда гало показывает наличие в верхних слоях атмосферы снежных кристалликов, когда простым глазом заметить



их трудно. Иногда гало может сигнализировать о приближении целой системы облаков, во главе которых движутся перистые облака. Поэтому гало иногда может служить признаком предстоящего ухудшения погоды.

**Перисто-кучевые облака** (рис. 53, 54). Как правило, они расположены несколько ниже перистых; состоит из мелких, правильной формы, блестящих, перламутрового цвета плиток, уменьшающихся от ряда к ряду и расположенных в известном порядке. Окраска их однотонная. Перисто-кучевые облака не дают тени.

Иногда они напоминают рябь на поверхности песка или воды и имеют ясно выраженный волнистый характер. Эти облака, как правило, на небесном своде переходят в сплошные перисто-слоистые.

**Перисто-слоистые облака** (рис. 55, 56) представляют собой сплошную облачную пелену, однородную по всей поверхности, вуалеобразную или имеющую волокнистое строение. В них, так же как и в перистых облаках, иногда наблюдается гало.

**Высококучевые облака** (рис. 57) представляют собой гряды облаков, идущих параллельными рядами; каждый ряд состоит из непрерывного облачного слоя или разбит на отдельные пластины; между элементами облака и между рядами могут быть просветы голубого неба или они могут быть сплошными; гряды облаков как бы накладываются одни на другие. Края отдельных элементов более светлые, блестящие, прозрачные; средняя часть более темная.



Рис. 57. Высококучевые облака.



Рис. 58. Высококучевые, башенкообразные облака.



Рис. 59. Высококучевые хлопьевидные облака.



Рис. 60. Схема образования облачных рядов.

Разновидность высококучевых облаков в *высококучевые башенковидные* (*castellatus*, сокращенно *Ac cast*) (рис. 58). На длинных сплошных облачных полосах по краям наблюдаются неровности, похожие на маленько кучевые облака — башенки. Они свидетельствуют о вертикальной неустойчивости атмосферы, способствующей развитию вертикальных движений с последующим образованием грозовых и ливневых облаков. Такое же значение имеют и *хлопьевидные* облака (*floccus*, сокращенно *Ac floe*) (рис. 59). Обе формы имеют значение для предсказания погоды по местным признакам и предвещают ливень и грозу.

Высококучевые облака имеют иногда вид правильных облачных рядов, при продолжении как бы сходящихся в одной точке, называемой *точкой радиации*. Это видимое схождение облачных рядов, как было указано выше, результат перспективы. Видимое, кажущееся схождение основано на том, что расстояние между рядами облаков вдали видно под меньшим углом, чем вблизи. Ряды возникают вследствие волновых движений в свободной атмосфере на границе между двумя воздушными массами, движущимися одна относительно другой и имеющими различные плотности.

Допустим, что воздушные массы I и II (рис. 60) разной плотности находятся одна над другой. Если бы обе воздушные массы находились в состоянии покоя, то граница между ними могла бы быть горизонтальной и идти по прямой 1—2. Если же эти массы воздуха движутся одна по отношению к другой, то на границе образуются волны; теперь граница раздела будет иметь волнообразный характер. Из рисунка видно, что масса I на гребнях волн поднимается вверх, масса II на впадинах опускается вниз. Это опускание и поднятие в условиях свободной атмосферы может достигать нескольких сот метров. Если масса воздуха I имеет достаточно большую относительную влажность, то при поднятии и адиабатическом охлаждении температура ее может оказаться ниже температуры насыщающих водяных паров; на всех гребнях волн начнется конденсация. Так возникают облачные ряды. Из сказанного видно, что ряды облаков возникают только при условии, если расположенная ниже масса воздуха I имеет большую относительную влажность, так что небольшое понижение температуры, связанное с подъемом на несколько сот метров, достаточно для возникновения процесса конденсации и образования облаков.

Реально наблюдаемые длины волн колеблются в больших пределах, приблизительно от 200 до 2000 м.

**Высокослоистые облака** (рис. 61) представляют собой сплошной облачный покров, в большинстве случаев не имеющий видимой структуры. Через такой слой облаков диск солнца или луны имеет вид светлого размытого пятна. Такая разновидность облаков, через которые видны солнце и луна, носит название **высокоослоистые** и **просвечивающие** в отличие от более плотных непрозрачных высокослоистых облаков, через которые диски солнца и луны не видны.

Высокослоистые и высококучевые облака могут состоять из кристаллов льда или из капель. Иногда, при прохождении световых лучей через эти облака, вследствие дифракции вокруг диска солнца и луны видны яркие радужные кольца, так называемые **венцы**. Они непосредственно примыкают к светилу. Внутренняя часть венца голубоват-белая или голубовато-фиолетовая; наружная — красная; средняя часть желтого цвета. Иногда наблюдается не один, а 2—3 венца, расположенных последовательно и примыкающих один к другому.

Красный край может быть расположен на угловом расстоянии до 3° от светила.

Величина радиуса венцов зависит от размера облачных элементов: чем больше радиус, тем меньше размер облачных элементов. Поэтому, наблюдая, как с течением времени изменяется радиус венца, можно судить, уменьшаются ли капли воды или



Рис. 61. Высокослоистые облака.



Рис. 62. Слоистые облака.



Рис. 63. Слоисто-дождевые облака.

увеличиваются, т. е. происходит ли процесс испарения или конденсации; отсюда можно сделать вывод о вероятности выпадения осадков. Поэтому измерения радиуса венца служат местным признаком предсказания погоды.

**Слоистые облака** (рис. 62) расположены в нижнем слое атмосферы до высоты 2 км. В этих облаках обычно заключаются большие массы воды. Облака могут иметь значительную толщину, через них не виден диск солнца или луны. Они имеют однообразный вид и темно-серую однотонную окраску. Из этих облаков может выпасть морось. Однако если наблюдаются осадки, то облака регистрируются как *слоисто-дождевые* (рис. 63). По сравнению со слоистыми облаками они имеют более темную окраску, в летнее время — свинцово-синеватую.

Если слоистые облака имеют разрывы и представляют собой, например, мощные гряды, валы с темной окраской и размытыми краями или испученности, то такие облака носят название *радиально-слоистые*.

**Слоисто-кучевые** (рис. 64) напоминают высококучевые облака, однако отличаются большей мощностью и меньшей четкостью форм.

Иногда облачный слой сплошной, но на нем виден сложный рисунок с более темной или светлой окраской отдельных частей; они имеют какое-то преобладающее направление и свидетельствуют о движении; это уже не спокойный однотонный слой слоистых облаков. Такие формы также носят название *слоисто-кучевых*.

**Кучевые облака** (рис. 65) образуются обычно в теплое время года, когда нагретая солнечными лучами почва содействует развитию в атмосфере вертикальных движений и турбулентного перемешивания. Они имеют клубящийся вид (рис. 66), напоминают выброшенные вверх клубы дыма или головку цветной капусты. Верхняя часть имеет четкую границу, хорошо видную на фоне голубого небесного свода. Отдельные выступающие части облака увеличивают на развитие в атмосфере вертикальных токов. Нижняя часть облаков имеет приблизительно горизонтальную поверхность и находится на одной высоте, на уровне начала конденсации водяных паров. При освещении солнечными лучами кучевые облака имеют белоснежный цвет; выступающие части облака дают резкие тени.

Кучевые облака возникают, как правило, утром и днем увеличиваются. Наибольшего развития они достигают в околополуденные часы; во второй половине дня они или «оседают», превращаются в плоские и растекаются, или, наоборот, развиваются в мощные облака, образуют облачные нагромождения, горы, башни (рис. 67). Вид их свидетельствует о мощном развитии вертикальных движений в атмосфере. В этом втором случае кучевые облака переходят в *кучево-дождевые*. Верхние части их развеиваются в направлении ветра; если наблюдать сбоку, то они имеют вид

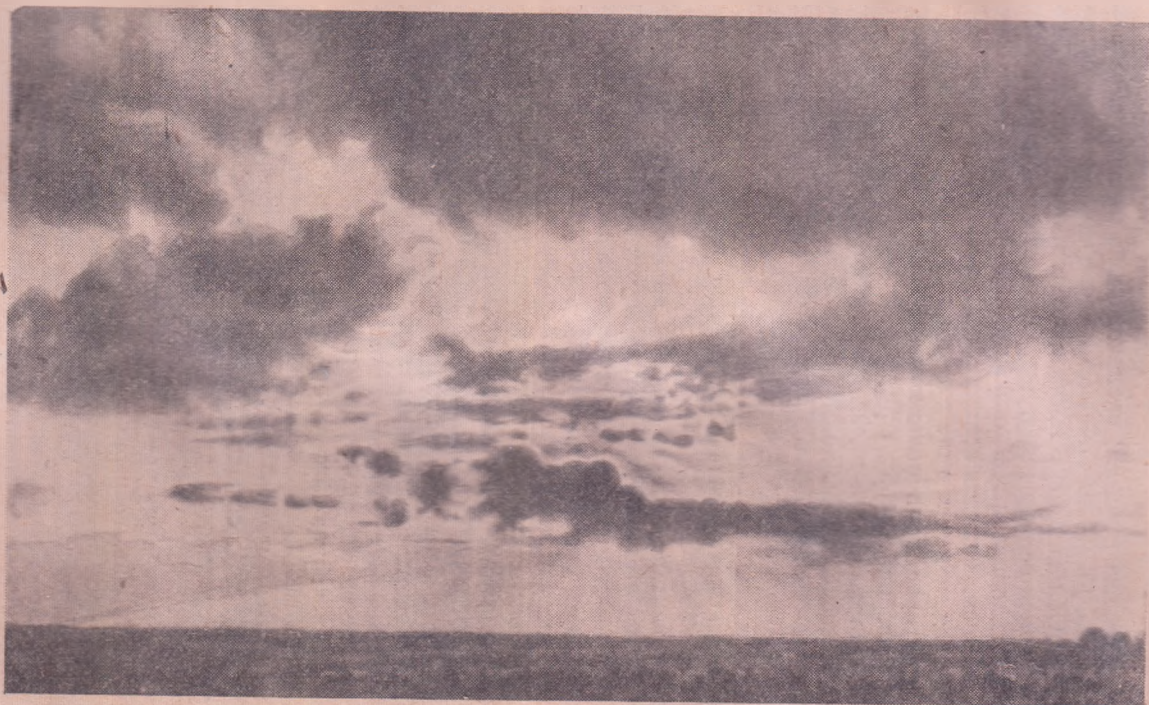


Рис. 64. Слоисто-кучевые облака.



Рис. 65. Кучевые облака (хорошей погоды).



Рис. 66. Мониторазвитые кучевые облака.

## 23. Осадки

Осадки, выпадающие на облаках, могут быть жидкими (дождь) или твердыми (снег).

Дождь состоит из водяных капель различного размера радиусом от 0,1 до 3,5 мм. Скорость падения капель наибольшего диаметра равна приблизительно 8 м/сек. Чем меньше капля, тем медленнее она падает, встречая противодействие со стороны восходящих токов в атмосфере. Если капля проходит через слой воздуха с относительной влажностью меньше 100%, то по пути она может испариться и не дойти до земной поверхности. В этом случае на небесном своде наблюдаются темные полосы падения осадков, не достигающие до земной поверхности.

В облаках иногда наблюдаются восходящие движения со скоростью несколько метров в секунду. В таких условиях могут выпадать капли размером не менее 0,2 мм.

При отрицательных температурах воздуха выпадают мельчайшие снежинки-кристаллы или в виде отдельных игл, или в виде снежинок, имеющих разнообразную форму (рис. 69).

Снежинки падают с меньшей скоростью, чем капли; скорость падения их лежит в пределах от 0,1 до 1 м/сек. Они имеют большую поверхность, чем капля того же веса, и не только легче удерживаются в атмосфере, но и поднимаются вертикальными течениями воздуха вверх.

Чтобы осадки могли выпадать, скорость падения капель или снежинок должна быть больше скорости восходящих движений в атмосфере.

Осадки характеризуются количеством их, выпадающим в единицу времени.

Они измеряются толщиной слоя воды в миллиметрах, который образовался бы, если бы выпавшие осадки не стекали, не просачивались в почву, не испарялись.

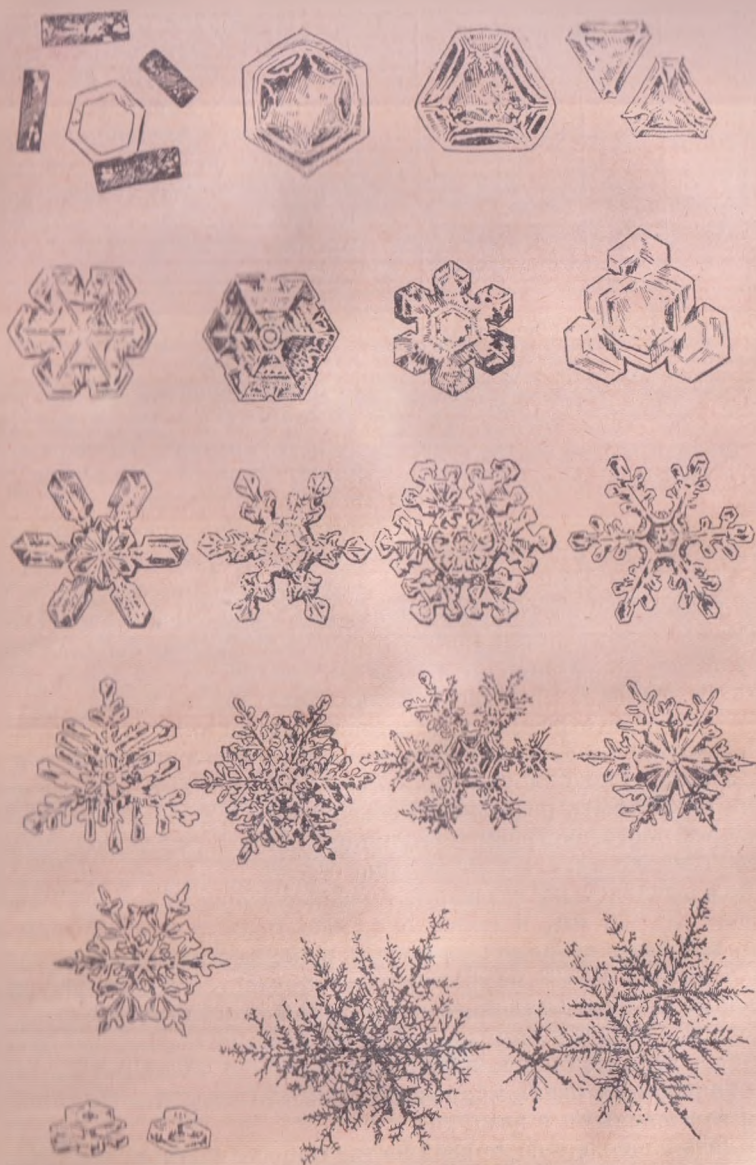
**Ливневый дождь.** Кроме общеизвестных видов осадков — дожди и снега, в метеорологии различают еще некоторые виды осадков, отличающихся интенсивностью, размерами выпадающих капель или снежинок, скоростью их выпадения, структурой, иногда окраской и другими особенностями.

Ливневый дождь, или ливень, отличается кратковременностью и большой интенсивностью: в минуту выпадает слой осадков толщиной 0,5 мм и более.

В пределах Советского Союза наиболее сильные ливни, свыше 5 мм в минуту, отмечены на Украине. Особенной силы ливни достигают в тропических странах. Известный путешественник П. П. Миклухо-Маклай в дневнике от 6 ноября 1871 г. записал: «Дождь начал не каплями, а лил тонкими струйками»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> П. П. Миклухо-Маклай. Путешествие на берег Маклая. Географиздат, 1956, стр. 49.





Гис. 69. Различные формы снежинок.

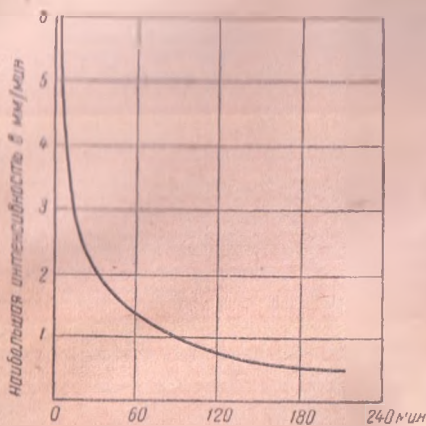


Рис. 70. Продолжительность дождей различной интенсивности.

Чем больше интенсивность дождя, тем меньше его продолжительность. Из рисунка 70 видно, что линии большой интенсивности продолжаются несколько минут. Площадь, на которой выпадает ливень, бывает небольшой. Ливень обычно сопровождается сильным ветром, который пригибает растения и может их падламывать.

**Град.** Ливни часто сопровождаются грозами и иногда градом, который образуется в результате мощных вихревых движений вокруг горизонтальной оси. Градины обычно представляют собой непрозрачное ледяное ядро, покрытое несколькими концентри-

ческими слоями прозрачного плотного и непрозрачного рыхлого льда (рис. 71). Каждый слой — результат полного оборота градины вокруг горизонтальной оси. В нижней части траектории градина обволакивается мокрым снегом, водой; в верхней части замораживается. Конечно, это упрощенная теория. Но и до настоящего времени причина образования града остается невыясненной. Иногда строение градины бывает зернистое.

В большинстве случаев градины имеют сферическую форму, иногда покрытую снаружи большими кристаллами льда. Размер градин может быть различным, обычно от 0,5 до 2 см в диаметре; иногда они достигают размера куриного яйца. В отдельных случаях вес градины достигает 1 кг и даже более.

Град выпадает на площади, имеющей форму длинной полосы шириной 10—20 км, и нередко сильно повреждает молодые деревья, побивает на полях культуры и мелких животных.

В пределах СССР наиболее часто подвергаются градобитиям различные районы Северного и Центрального Кавказа.

**Морось** — осадки, выпадающие из слоистых облаков или из тумана, в виде мелких капелек диаметром не более 0,5 мм. Скорость падения их очень мала, почти незаметна для глаза; они кажутся взвешенными в воздухе.

Выпадая на водную поверхность, морось не вызывает на ней полнообразных кругов, как это бывает при выпадении обычных капель дождя. В переохлажденном виде морось может выпадать при отрицательных температурах.

**Ледяной дождь** представляет собой мелкие, твердые, совершенно прозрачные ледяные шарики диаметром от 1 до 3 мм, образующиеся в результате замерзания капель дождя, когда они при

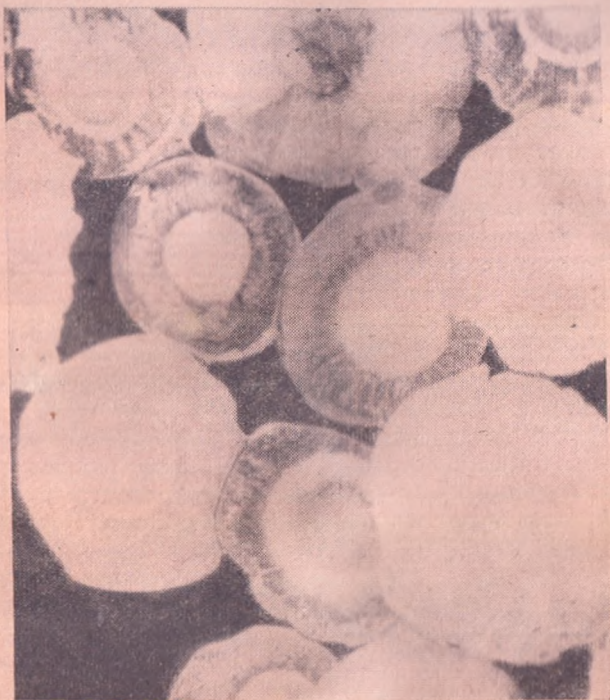


Рис. 71. Град.

надении попадают в холодный слой атмосферы с отрицательной температурой.

Различают и другие виды осадков; среди них рассмотренные ранее роса, иней, изморозь, гололед, образующиеся на поверхности земли, на растительности, на деревьях, на различных предметах.

Туман,двигающийся вместе с воздушным течением, может осаждать значительное количество осадков на встречающейся по пути растительности, на различных предметах.

#### **24. Влияние леса на осадки и снежный покров**

Осадки, выпадающие над лесом, попадают на кроны деревьев, которые частично их задерживают. Чем гуще лесной полог, тем больше задерживается осадков. В летнее время они частично смачивают кроны и стволы деревьев и доходит до земли; по пути значительное количество осадков испаряется. Летние осадки в меньшей мере достигают земной поверхности, чем зимние. За год через кроны леса до земли доходит приблизительно 70—75% осадков.

На количество осадков, достигающих земли, влияют интенсивность их, состав насаждения, его облиственность и густота.

Лиственные породы пропускают на почву больше осадков, чем хвойные. Капли дождя, сливаясь на листьях, стекают по сучьям на ствол дерева. На хвойных деревьях капли остаются висеть на отдельных иголках и испаряются. Полог спелых березняков задерживает около 0,1 выпадающих осадков, сосняки задерживают 0,2, густые ельники задерживают 0,33. Эти величины только ориентировочные средние; в отдельные годы могут быть отклонения. Полог частого ельника может удерживать свыше 50% выпавшего снега. Ветер способствует проникновению осадков через лесной полог; он сбрасывает с ветвей капли дождя и снег. Если температура воздуха близка к 0°, то липкий снег лучше удерживается ветвями; при низких температурах снег легче проходит через кроны деревьев, особенно при ветре.

Проф. Н. И. Костюкевич в исследовании гидрологической роли лесов Полесья пришел к выводу, что процент задержания осадков пологом насаждения при их средней интенсивности по БССР может быть представлен следующими данными (табл. 40).

Таблица 40

Задержание осадков пологом леса в %  
(по Н. И. Костюкевичу)

Лес	Задержание осадков пологом леса различной полноты (в %)			
	1,0	0,8	0,6	0,4
<i>Ельники</i>				
Молодняки	68	62	49	31
Средневозрастные	60	48	36	24
Спелые	44	35	26	97
<i>Сосняки</i>				
Молодняки	57	30	23	15
Средневозрастные	31	25	19	13
Спелые	25	20	15	10
<i>Лиственные</i>				
Молодняки	45	27	20	14
Средневозрастные	27	22	17	11
Спелые	23	18	14	9
<i>Смешанные хвойно-лиственные</i>				
Молодняки	51	40	31	19
Средневозрастные	31	25	19	12
Спелые	25	20	15	10

Толщина снежного покрова в лесу выше, чем на поле, где ветер часто сдувает снег в пониженные места и овраги; особенно это относится к лиственным породам деревьев, кроны которых лучше пропускают летние и зимние осадки. В березняках запас воды зимой в виде снега может быть почти на 50% выше, чем в поле. Хвойные деревья, особенно ели, сильно задерживают снег; под ельником количество снега может быть меньше, чем на поле. Снегонакопление, по Н. П. Костюкевичу, зависит от состава, возраста и полноты насаждений. Наибольшее снегонакопление происходит на полянках в лесу (принятое за 100%), затем в лиственных насаждениях 86%, меньшее в смешанных хвойно-лиственных, сосновых и самое малое в ельниках 67%, почти равное условиям открытых полевых площадей. В связи с большей высотой снежного покрова почва в лесу промерзает на меньшую глубину, чем в открытом поле.

Около опушки поток воздуха, подходящий к лесу, создает сильное турбулентное движение: вследствие этого на опушке леса отлагается большое количество снега.

Значительное количество осадков лес удерживает в виде инея, изморози, гололеда. Туман, перемещаемый горизонтальными воздушными течениями, при проникновении в лес может оставлять там большие запасы воды, стекающие на земную поверхность по сучьям и стволам, а также капелью с листьев и с хвои деревьев.

Наблюдения на лесных полянках показывают, что количество выпадающих там осадков больше, чем на соседних полях. Но это расхождение, вероятно, можно приписать несовершенству установок для измерения осадков, показания которых в значительной степени зависят от ветра, который на поле дует с большей скоростью, вызывает испарение осадков и даже выдувание их из ведра в зимнее время.

Учитывая все указанные обстоятельства, можно считать, что лес получает примерно такое же количество осадков, как и поле.

## 25. Методы измерения осадков

Для измерения осадков применяется д о ж д е м е р (рис. 72), установленный на столбе так, чтобы верхняя приемная поверхность ведра 1 была на высоте 2 м над уровнем земной поверхности. Поперечное сечение ведра 500 см<sup>2</sup>, высота 40 см. Чтобы величина приемной части была постоянной, на верхнем крае ведра имеется прочное кольцо. Внутри ведра, кроме обычного дна, впаяно второе дно 2 воронкообразной формы; в нижней части воронки имеется несколько отверстий, через которые дожди, попавший в ведро, стекает в его нижнюю часть. Второе дно поставлено для того, чтобы собранные осадки не испарялись.

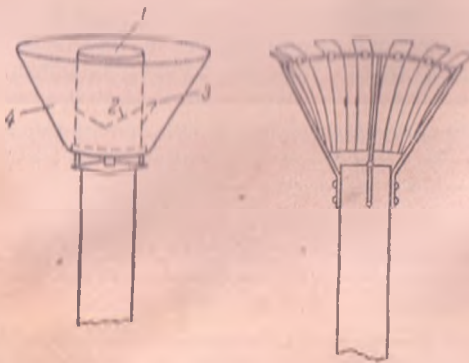


Рис. 72. Дождемер и осадкомер.

ходит уплотнение обтекающих струй воздуха и повышение скорости их движения. Поэтому ведро оказывается накрытым как бы «аэродинамической крышкой» — слоем воздуха с большими скоростями. Мелкие капли дождя и мелкие снежинки, попадая в такой слой воздуха, сдуваются в сторону и не попадают в дождемер. Чем меньше приемная поверхность, собирающая осадки, тем лучше она накрывается аэродинамической крышкой. Малые приемные поверхности недопустимы, так как такие дождемеры дают искаженные результаты количества выпавших осадков. Чем сильнее ветер, тем больше будет искажение. Цель установки сплошной конической защиты заключается в том, чтобы аэродинамическую крышку отодвинуть от кромки ведра и таким путем выровнять над ним аэродинамическое поле.

В последние годы на станциях гидрометслужбы пользуются о с а д к о м е р о м. Ведро осадкомера имеет приемную поверхность  $200 \text{ см}^2$ . Защита не сплошная, а состоит из 16 отдельных планок, которые укреплены равномерно вокруг приемного ведра, поэтому защита называется планочной (рис. 72).

В настоящее время на метеорологических станциях можно встретить и дождемеры и осадкомеры. Поэтому дано описание и той и другой конструкции.

Собранные в дождемерном ведре осадки для измерения выливают в специальную мензурку — измерительный стакан. Так как приемная поверхность ведра постоянна —  $500 \text{ см}^2$ , то слой вываливших осадков толщиной  $0,1 \text{ мм}$  в ведро будет иметь объем  $500 \times 0,01 = 5 \text{ см}^3$ . Следовательно, если на измерительном стакане нанести деления через каждые  $5 \text{ см}^3$ , то эти деления будут показывать высоту слоя выпавших осадков, измеренную в десятых долях миллиметра.

Намерение осадков проводят четыре раза в сутки: в 3, 9, 15 и 21 час.

В зимнее время в ведро собирается снег; в часы, установленные для наблюдений, ведро с осадками снимают и заменяют его запасным. После того как накопленный в ведре снег растает, количество полученной воды измеряют при помощи того же измерительного стакана. Таким образом, в летнее и зимнее время количество выпавших осадков измеряется в миллиметрах толщины слоя выпавшей воды.

Зимой дополнительно *измеряют высоту снежного покрова*, которую отсчитывают по рейке с сантиметровыми делениями, установленной еще с осени; кроме того, периодически измеряют *плотность снега*.

В зимнее время высота снежного покрова постепенно растет, поэтому расстояние от приемной поверхности ведра до поверхности снега постепенно уменьшается. Чтобы ослабить искажающее действие такого поднятия поверхности снежного покрова в тех местах, где толщина его обычно превышает 1 м, дождемеры рекомендуется устанавливать на высоте 3 м.

Такова методика измерения осадков, применяемая на станциях гидрометслужбы.

Для сельскохозяйственной метеорологии описанные методы измерения осадков недостаточны по следующим причинам.

Сельскохозяйственная метеорология интересуется тем, какое количество осадков упало на землю, а не тем количеством, которое попало в ведро, установленное на высоте 2 или 3 м. Количества эти могут отличаться одно от другого, причем разница эта не постоянна, а зависит от условий погоды.

В зимнее время ошибка при измерении количества выпавших осадков может быть значительной, так как снежинка вследствие своей большой поверхности не только легко сдувается в сторону, не попадая в ведро, но даже легко выдувается из ведра, если она туда уже попала.

Большие перемещения снега, создаваемые низовыми метелями, могут совсем не отразиться на показаниях дождемера, установленного на высоте 2 и даже 3 м, и, наоборот, при сильных низовых метелях в ведре может оказаться значительное количество снега, хотя осадков на самом деле и не было.

Описанная установка приборов на одном постоянном месте не может быть достаточной в большом хозяйстве, с полями различного наклона и ориентировки, с различным расположением лесных участков и лесных полос. Агрометеорологические наблюдения должны дать сведения о снежном покрове *для каждого поля данного хозяйства*, чтобы охарактеризовать условия зимовки озимых культур и запасы воды.

Поля разного наклона и ориентировки, разно обработанные, хотя бы и близко расположенные, могут иметь снежный покров, различный по высоте, структуре, плотности, залеганию ледяных корок.

Обычные наблюдения снежного покрова необходимо дополнить измерением сплошности и послойной плотности снега, а также расположению и мощности ледяных корок, имеющих большое значение в устойчивых зимовки растений.

При измерении летних осадков в сельскохозяйственной практике имеет значение не только общее количество выпавших осадков, но и их интенсивность, от которой в значительной мере зависит величина стока; в ряде случаев существенное значение имеет время суток, когда выпадают осадки.

При больших площадях в колхозах и совхозах нельзя предполагать, что разные посевные участки, удаленные один от другого, получают одинаковое количество осадков. На площади колхоза или совхоза необходимо иметь несколько расположенных в разных местах установок для измерения летних осадков.

Основываясь на этих соображениях для агрометеорологии, кроме описанных ранее дождемеров и осадкомеров, полезно установить дополнительные приборы. При этом измерение летних осадков следует отделить от измерения зимних осадков; это две разные задачи, и решать их надо по-разному.

**Измерение летних осадков.** Дождемерное ведро обычного типа устанавливают в углублении в почве так, чтобы приемная поверхность ведра находилась на уровне земли (рис. 73). Приемная поверхность дождемерного ведра должна быть такой же, как на ближайшей метеорологической станции. Расстояние от ведра до защитного цилиндра-футляра, установленного в почве, равно 25 см. Трава вокруг него должна быть оставлена и низко подрезана, чтобы капли дождя не разбивались о почву и брызги не летали до ведра. Футляр имеет сетчатое или металлическое дно с отверстиями. Преимущество такой установки дождемерного ведра в том, что приемная часть его находится в условиях *выравненного воздушного потока*. Измерение количества выпавших осадков производится обычным путем. Так как приемная часть ведра расположена на уровне поверхности земли, то она находится в усло-

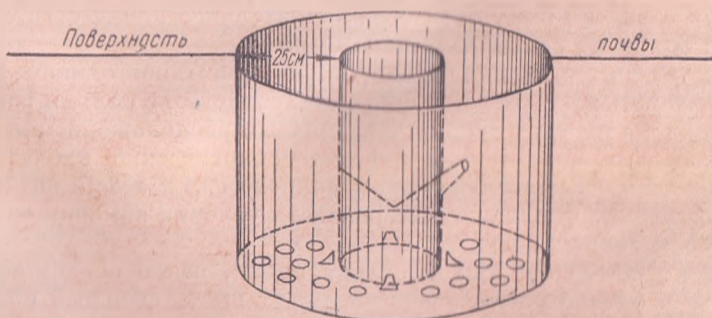


Рис. 73. Дождемер, установленный в почве.



ниях ветра меньшей скорости и дождемер дает количество осадков, близкое к тому, которое действительно выпадает на почву.

**Измерение зимних осадков (снежного покрова).** Обычно снежный покров состоит из нескольких слоев различной плотности и различной структуры. Каждый слой имеет свою теплопроводность. Поэтому обычно измеряемая средняя плотность всего снежного покрова недостаточна для определения его тепловых свойств. Для изучения снежного покрова можно поступать следующим образом.

Поздней осенью в землю закапывают футляр из оцинкованной жести (рис. 74) высотой 15 см и диаметром 12 см (размеры приблизительные). Дно футляра должно иметь отверстия; под дном в земле должно быть углубление для стока талой воды. В футляр вставляют стакан из жести. Чтобы стакан не плотно прикасался к дну и стенкам футляра, с боковой стороны стакана и под дном припаивают небольшие металлические палочки. По верхней кромке стакан имеет круговой бортик; если стакан вставить в футляр, то бортик накроет образовавшуюся между ними щель. Внутри стакана насыпают землю (такую же, как и вокруг установки) и укрепляют вертикальную рейку круглого сечения небольшого диаметра. Рейка разделена на сантиметры. Так как диаметр рейки небольшой и нанести на нее цифры было бы затруднительно, то деления наносят разными цветами. Рейку, укрепленную в стакане, оставляют в поле на зиму; ее заносит снегом. В установленный для измерения срок на рейку падевают цилиндрический нож, на нижнем конце которого укреплена массивная круглая пилка, радиус ее равен радиусу стакана. Вращая цилиндрический нож в ту и другую сторону, постепенно опускают его до стакана, при этом пользуются направляющей трубкой, имеющейся в цилиндре; взяв за копец рейки, вынимают вырезанную пробу снега вместе со стаканом (рис. 75) и уносят ее в недоступное помещение. Здесь цилиндр снимают и вырезанную пробу исследуют. Прежде всего измеряют толщину и расположение ледяных корок, затем отмечают слоистость снега. Каждый слой снега довольно резко

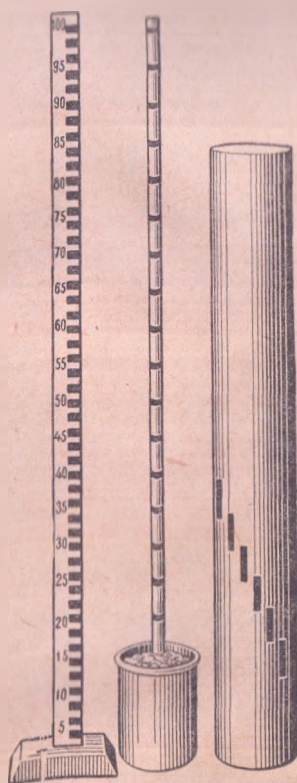


Рис. 74. Снегомер.

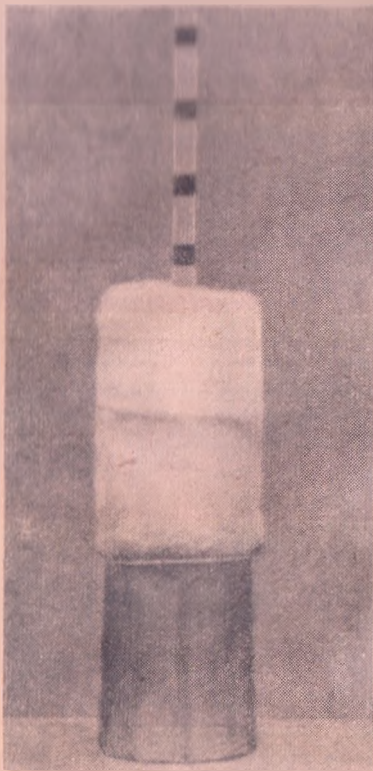


Рис. 75. Проба снежного покрова.

отделяется от другого темной прослойкой; поверхность расположенного ниже слоя обычно имеет большую плотность и более темный цвет. Поэтому, имея цилиндрическую пробу, можно легко измерить толщину каждого слоя. После этого определяют плотность каждого слоя в отдельности.

Таких реек ставят столько, сколько предполагено сделать в течение зимы анализов снежного покрова.

Залегание снежного покрова на полях изучают также при помощи снегомерных съемок. Для этого на изучаемой территории перемещаются на лыжах и через каждые 15 шагов, пользуясь походной рейкой, определяют высоту снежного покрова. Кроме того, через каждые 150 шагов измеряют плотность снега.

По результатам измерений может быть составлена карта распределения снега на изучаемом участке.

Для непрерывной записи выпадения дождя служит самопишущий прибор — пювигрограф, или дожденисек. Устройство его следующее (рис. 76).

В верхней части цилиндрической коробки 1 укреплено дождемерное ведро 2 с коническим дном; поперечное сечение ведра 500 см<sup>2</sup>. Осадки, собираемые этим сосудом, по трубке стекают в сосуд 3, внутри которого имеется поплавок с выступающим наружу вертикальным стержнем 4, к стержню прикреплено горизонтальное перо 5. Специальным рычажком перо может быть отведено от ленты или, наоборот, подведено к ней. В сосуд 3 входит одно колено сифонной трубки 6. Выше стоит ведро 7. Пока дождя нет, перо чертит на ленте горизонтальную линию. Но как только начинается дождь, вода, стекающая в сосуд 3, поднимает поплавок и перо начинает чертить наклонную линию на ленте, вращаемой часовым механизмом; чем сильнее осадки, тем круче поднимается вверх эта кривая.

Одновременно наполняется водой сифонная трубка 6. Когда вода дойдет до верхнего изгиба трубки и заполнит его, сифон

начинает действовать: вода из сосуда 3 по трубке 6 выливается в ведро 7, а перо вместе с поплавком падает вниз и чертит на ленте вертикальную линию. Падение происходит до тех пор, пока вода из сосуда 3 не выльется до нижнего края сифонной трубки; как только в трубку провется пузырек воздуха, действие сифона прекращается. Если дождь продолжается, то сосуд 3 снова наполняется водой и перо поднимается вверх. Если дождь прекратился, то поплавок остается на одном и том же уровне и перо чертит на ленте горизонтальную линию.

Лента с записанным на ней ходом выпадения дождя называется пневиограммой.

Пользуясь пневиограммой, можно определить время начала и конца дождя (с точностью до минуты), а также интенсивность дождя и сумму выпавших осадков для любого промежутка времени.

Общепринятые в метеорологии измерения суммы осадков, выпавших за каждые 12 часов, для агронома недостаточны; проникновение осадков в почву или бесполезный сток их в большой степени зависит от интенсивности и их распределения по времени. Например, ливни дают большое количество осадков, но большая часть их не успевает проникнуть в почву, стекает в низины, водоемы и растениям не используется.

Осадки, выпавшие в первую половину дня, могут оказаться неблагоприятными, если в последующие часы устанавливается жаркая солнечная погода: на поверхности почвы может образоваться корка. Поэтому применение самопишущих приборов очень полезно.

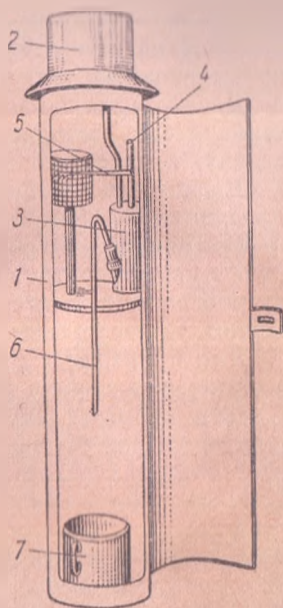


Рис. 76. Пневиограф.

## 26. Значение осадков для сельского хозяйства

Для роста и развития растений в почве должен быть известный запас влаги.

При пересыхании почвы растение прекращает свой рост и погибает.

Главнейший источник влаги в почве — осадки, выпадающие в виде дождя или снега. Накопление влаги в почве начинается еще в осенние месяцы, в период послеуборочных и осенних дождей; затем запас влаги пополняется зимними снегопадами, а также весенними и летними дождями.

Зимние осадки не только существенно дополняют запас воды, но и определяют условия зимовки культур, глубину промерзания почвы, распределение в ней температур.

Достаточные запасы воды в почве в осенние месяцы в значительной степени определяют урожай озимых и яровых культур, страхуют от возможного недостатка осадков в летние месяцы.

*Потребность растения в воде непостоянна. В различные фазы развития она изменяется в больших пределах.*

Например, исключительно большое влияние на урожай овса имеют июньские осадки. Отсутствие их не может быть компенсировано осадками в другие месяцы; при отсутствии дождей в этот период урожай резко снижается.

Для пропашных культур осадки необходимы во вторую половину лета, в период формирования урожая.

Для озимых важно выпадение осадков в осенние месяцы; отсутствие их тормозит прорастание семян, появление всходов растений и их развитие.

Более 60 лет назад К. А. Тимирязев писал: «Метеорологи могут утешать нас своими годичными средними, но земледелец знает, что важно доставить растению эту воду именно там и тогда, когда оно в ней нуждается»<sup>1</sup>.

Таким образом, агроному необходимо знать не только количество выпавших осадков, но и распределение их по времени и потребность выращиваемой культуры, чтобы ориентировочно учесть влияние осадков на урожай. *Сумма осадков, взятая в целом за вегетационный период или за год, не может характеризовать водные ресурсы данного места, если иметь в виду возделывание той или иной культуры или решать вопросы агроклиматического районирования.*

Частые и обильные осадки, особенно во время уборки урожая, оказывают отрицательное действие и приводят к потерям урожая. Избыток осадков в период вегетации задерживает развитие растений, способствует развитию различных болезней, например ржавчины и др.

Крайне неблагоприятны для сельского хозяйства ливневые осадки. Большая часть их стекает, не успевает проникнуть в почву. Ливни разбивают комки почвы и способствуют образованию корки.

## 27. Снегозадержание

Запас воды в почве можно существенно увеличить, применяя *снегозадержание*. Это важный агротехнический прием повышения урожайности.

<sup>1</sup> К. А. Тимирязев. Избр. соч. в четырех томах. Сельхозгиз, 1948, т. II, стр. 151.

Чтобы задержать снег на полях и не допустить сдувания его в овраги, необходимо создать на поле препятствие.

Представим себе, что на поле поставлен вертикальный сплошной щит (рис. 77) высотой до 1,5 м и длиной до 2 м, причем направление его перпендикулярно господствующему ветру. Над ровным полем воздушный поток имеет более или менее упорядоченную структуру. Все частицы воздуха движутся тонкими слоями по прямолинейным траекториям; при переходе от одного слоя к другому скорость движения вследствие внутреннего трения изменяется постоянно и непрерывно; в нижней части поток несколько тормозится неровностями почвы — трением о земную поверхность. Такой относительно упорядоченный воздушный поток называется *ламинарным*.

Подходя к препятствию, ламинарный поток превращается в *турбулентный*. Теперь частицы воздуха описывают самые сложные траектории, непохожие одна на другую; наблюдаются мелкие вихри с вертикальной, горизонтальной или наклонной осью, а также движения по беспорядочным случайным траекториям, не имеющим правильной формы.

Такие же турбулентные движения совершаются и за препятствием с подветренной стороны, причем здесь горизонтальное протяжение и объем турбулентного потока больше, чем с наветренной стороны. Последующие воздушные массы, подходя к препятствию, движутся по этим объемам турбулентного потока, как по наклонной плоскости, вверх, отчасти переменяются и, пройдя над препятствием, на другой стороне его постепенно опускаются вниз. Над препятствием линии тока сближаются и скорость движения воздушных масс усиливается.

Таким образом, препятствие, поставленное на пути ламинарного, относительно упорядоченного воздушного потока, превращает его в поток турбулентный, в полной мере беспорядочный.

Масса воздуха, находящаяся в турбулентном состоянии, для падающей снежинки представляет меньшее сопротивление, чем в случае ламинарного потока. Попадающая в такой объем снежинка получает бесчисленные удары частиц воздуха с разных сторон и потому не увлекается в сторону, не сползает в овраг.



Рис. 77. Щит на поле.

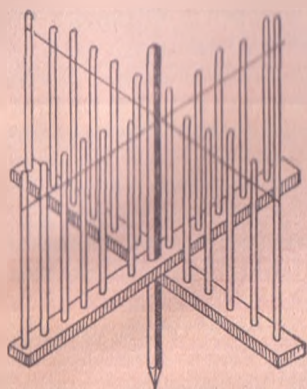


Рис. 78. Щит для снегозадержания.

В зависимости от случайного преобладания ударов с той или другой стороны снежинка колеблется и постепенно падает южнее. Поэтому около препятствия накапливается снег; образующийся у препятствия снежный вал с наветренной стороны занимает меньшую площадь, имеет меньшую ширину и высоту, чем с заветренной стороны. Снег располагается вблизи щитов в виде двух снежных валов, направленных вдоль препятствия. Конструкция препятствий для снегозадержания может быть самой разнообразной.

Щиты для снегозадержания делают из отходов пиломатериалов, хвороста, камыша, стеблей кукурузы, подсолнечника, соломы и других местных материалов. Переплет обычно занимает от 25 до 50% площади всего щита.

Следует заметить, что щит с вертикально стоящими планками работает лучше, чем щит такой же площади с горизонтально расположенными планками.

Щит с просветами работает лучше, чем сплошной; просветы способствуют распределению снега по большей площади, в то время как сплошной щит собирает снег в виде узких и высоких валов, располагающихся вдоль линии установки.

Группы щитов (по 4—5 штук) расставляют рядами; расстояние между отдельными группами одного и того же ряда равно двукратной длине данной группы. Один ряд от другого располагают на расстоянии 20-кратной высоты щита. Ряды располагают так, чтобы группа второго ряда приходилась против разрывов первого ряда; на каждый гектар выставляют примерно 80—100 щитов.

По мере накопления снега щиты вынимают и переносят на другое место, чтобы накопление снега было более или менее равномерным по всему полю.

Направление щита должно быть перпендикулярным направлению ветра; при этом условии щит работает наиболее эффективно. Если же ветер дует вдоль щита, то задерживать снег он не будет. Следовательно, прежде чем ставить щиты, необходимо определить господствующее направление ветров в зимнее время на данной местности.

В местах, где нет ясно выраженного преобладающего направления ветра и где возможна неправильная ориентировка щита, применяют перекрестные щиты (рис. 78). При любом направлении ветра та или иная плоскость такого щита задерживает снег; при направлении ветра, не совпадающем ни с одной плоскостью щита, обе плоскости собирают снег, хотя и ослабленно.

Косилки на них работают не на полную мощность, но в целом они работают при любом направлении ветра.

В первую очередь щиты следует ставить на полях озимых культур, затем на массивах, отведенных под сахарную свеклу, кукурузу, яровую пшеницу, хлопчатник, на семенных участках, на посевах леса. После окончания зимы щиты с поля убирают и хранят до следующего года.

**Кулисы.** Для снегозадержания иногда применяют кулисы высокоствольных растений: кукурузы, сорго, подсолнечника, белой горчицы и др. Эти культуры высевают летом или ранней осенью в несколько рядов, ко времени установления снежного покрова они успевают вырасти до высоты 60—100 см. Необходимо, чтобы направление кулис было перпендикулярно направлению ветра, иначе снег будет усиленно выдуваться по продольным участкам между кулисами. Если направления господствующих ветров выражены недостаточно четко, то кулисы следует высеять по двум взаимно перпендикулярным направлениям; такая система клеток будет собирать снег при любых направлениях ветров.

На каждый погонный метр однострочной кулисы должно приходиться приблизительно 12—16 стеблей толщиной до 2 см. Расстояние между рядами растений в кулисах 60—80 см. Каждая кулиса из стеблей подсолнечника и кукурузы должна состоять из 3—5 рядов.

Расстояние между кулисами может быть до 20 м; однако чем меньше это расстояние, тем лучше кулисы собирают снег.

По данным Украинского института зернового хозяйства, наилучшие результаты дают однорядные кулисы с расстояниями между ними 12—15 м.

**Снегонахи.** Для снегозадержания на полях образуют снежные валы и канавы различного направления. Такие неровности снежного покрова работают как щиты или кулисы и способствуют дальнейшему накоплению снега.

Снежные валы удобно делать снегонахом, представляющим собой высокий деревянный угольник, сделанный из двух поставленных на ребро досок. Трактор тянет угольник по полям вершиной угла вперед. Вертикальные стенки угольника раздвигают снег и образуют канаву с возвышениями по обе стороны ее. Опыт показал, что такие элементарного устройства угольники дают хороший результат лишь на увлажненном снеге и при тихой погоде. Когда снег рассынается, при сильном ветре работа с угольником нередко приводит к обратному результату: снег сдувается с полей.

Используются снегонахи и других конструкций.

Так называемый риджерный снегонах (рис. 79) состоит из двух вертикальных поверхностей высотой 50—60 см, поставленных на определенном расстоянии одна от другой и образующих острый угол. Иногда эти поверхности в верхней части загибают внутрь. Во время движения снегонах широкой частью забирает снег

### 31. Вода в почве. Фильтрация, сток, конденсация

Основными источниками увлажнения почвы — осадки, конденсация водяных паров в почве, грунтовые воды.

Поступлению в почву выпадающих осадков происходит просачиванием или фильтрацией; величина ее определяется лизиметром. Конструкция этого прибора может быть различной, например это может быть ящик объемом 1 м<sup>3</sup> с водонепроницаемыми стенками, дно которого имеет выходную трубку, переходящую в собирающий сосуд. В ящик закладывают монолит почвы.

Отмечая количество выпавших осадков и количество воды, накопившейся в собирающем сосуде лизиметра, можно рассчитать величину фильтрации, т. е. определить, сколько процентов из общего количества выпавших осадков прошло через данный объем почвы.

На количество влаги, поступающей в почву, большое влияние оказывает структура почвы и рельеф. Чем крупнее комки почвы, тем больше объем между ними, тем легче вода проникает в глубь почвы.

Пересеченный рельеф способствует тому, что выпадающие осадки отчасти стекают в низины или в реки и водоемы и не успевают впитаться в почву.

Чтобы составить водный баланс почвы, необходимо измерить важнейшую составную часть водного баланса — сток.

Для изучения величины стока выделяют участок определенного размера и изолируют его от окружающих площадей. В наиболее низкой части его устанавливают контрольные приборы, через которые проходит вся стекающая вода. Счетчик прибора показывает прошедший через него объем воды. Затем можно рассчитать количество воды, стекающей в единицу времени площади, т. е. определять величину стока.

На величину стока оказывают влияние многие факторы. Важнейшими из них являются структура почвы и рельеф.

Большое влияние на величину стока оказывает растительность, которая уменьшает скорость стекающей воды и тем способствует ее проникновению в почву.

На величину стока оказывает влияние интенсивность выпадающих осадков. Ливневые осадки, когда за одну минуту выпадает слой воды толщиной 1 мм и выше, в большей части своей стекают в водоемы и реки, не проникают в почву и не используются растением.

То же можно сказать и относительно весенних талых вод. Если таяние снега идет быстро, то зимние запасы воды в виде снега быстро и бесполезно стекают. Таким образом, в отношении использования полями талых вод большое значение имеет характер весенней погоды.

Наконец, отметим, что степень использования весенних талых вод зависит от наличия на почве притертой ледяной корки. Если



такая порья есть, то талые воды не имеют возможности проникнуть в почву и стекают, то же будет и в случае глубокого промерзания почвы.

Таковы главные факторы, влияющие на величину стока. Они действуют одновременно, взаимно усиливая или ослабляя друг друга.

Величина стока зависит от многих факторов; поэтому довольно трудно составить какие-либо таблицы или числовые характеристики величины стока.

Рядом расположенные поля могут иметь разную величину стока. Это надо изучать опытным путем в конкретных условиях данного хозяйства.

Сток содействует не только бесполезную потерю огромных количества воды, но и вызывает смыв, эрозию поверхностных, наиболее ценных и плодородных слоев почвы и является причиной образования оврагов.

Поэтому со стоком надо бороться как с явлением вредным. Борьба сводится к тому, чтобы хорошей обработкой облегчить воде проникновение в почву, а также к тому, чтобы ослабить сток, преградить ему путь. С этой целью сажают широкие лесные полосы с густым подлеском. Они уменьшают скорость стока, не дают ему размывать и сносить поверхностный слой почвы.

Для задержания воды на склонах проводят также вспашку поперек склонов по горизонталям.

Источником воды в почве является также конденсация водяных паров.

Температура почвы может существенно отличаться от температуры воздуха и при известных условиях может быть значительно ниже ее. Воздух свободной атмосферы, входящий в почву, охлаждается и выделяет часть содержащегося в нем водяного пара. Так возникает конденсация воды в почве.

Количество конденсационной воды зависит от содержания водяных паров в атмосфере и разности температур воздуха свободной атмосферы и почвы.

Играет роль также скорость ветра, увеличение ее вызывает усиление воздухообмена.

Количество конденсационной воды зависит также от структуры почвы: чем крупнее отдельные агрегаты почвы, тем свободнее проникает в нее воздух, тем большее количество водяного пара может скопиться.

Конденсационная вода имеет большое значение в засушливых районах, в пустынях и полупустынях.

Делаются попытки создать искусственные установки для получения конденсационной воды.

В принципе такие конденсационные установки могут состоять из большого нагромождения обломков скал и камней, продуваемых ветром. Объем всей установки должен быть наибольшим,

технически возможным для того, чтобы предельно ослабить ее прогревание, создать наибольшую возможную разность температуры воздуха свободной атмосферы и внутренней части установки.

Вопрос о широком количественном использовании конденсационной воды впервые поставил проф. В. В. Тугаринов. В специальной установке, созданной им на территории ТСХА, проф. В. В. Тугаринов изучил основные закономерности конденсации водяного пара в почве и разработал методы использования их в производстве.

### 32. Методы определения влажности почвы

Запасы воды в почве, степень обеспеченности растений водой имеют первостепенное значение. В производственной работе эти величины в каждый момент и для каждого поля должны быть хорошо известны.

*Влажность почвы* — это отношение веса воды, заключающейся в известном объеме почвы, к весу сухой почвы в том же объеме; она обычно выражается в процентах. Таким образом, для определения влажности необходимо на выбранном участке взять пробу, определить, сколько в ней содержится по весу воды и сухой почвы, и составить отношение этих двух величин.

Преимущества этого метода — простота, общедоступность и бесспорность получаемых результатов, т. е. те важные качества, которыми другие методы пока не отличаются.

Следует отметить, что не вся влага, содержащаяся в почве и определяемая методом высушивания, может быть использована растением. Растение использует только доступную для него влагу, после чего завядает.

Влажность почвы, при которой растение завяло, называется *влажностью завядания*. Влажность почвы сверх уровня влажности завядания носит название *продуктивной влаги*, она может быть усвоена корневой системой растения. При влажности почвы ниже уровня влажности завядания растение практически не получает влаги.

Чтобы рассчитать запасы продуктивной влаги, необходимо из общего запаса влаги в данном слое почвы вычесть влажность завядания. Все эти величины измеряются в миллиметрах толщины водяного слоя.

### 33. Управление влагосодержанием почвы

Каждое поле имеет свой запас влаги и свой влагооборот. Сопоставляя имеющиеся запасы влаги в почве с потребностями растений, можно установить мероприятия для регулирования этих

шддддд с тем, чтобы растение получало влагу в нужном количестве и в необходимое время.

Для накопления влаги на полях проводят глубокое рыхление плугом без отвала, без оборачивания пласта, вспашку поперек склона, посадку кулис и лесных полос, лушение живья для удержания послеуборочных дождей, а также зяблевую вспашку для задержания осенних осадков.

Рыхление поверхностного слоя почвы и боронование полезный агротехнический прием еще и потому, что в результате его поверхность почвы покрывается небольшими комками, затрудняющими испарение, бесполезную потерю имеющихся в почве запасов воды. Особенно важным оказывается такое рыхление и боронование ринией песной для сохранения осенне-зимних запасов влаги.

Для сельскохозяйственного производства безразлично, в какие часы выпадает дождь и какая после него погода. Дожди в утренние часы могут оказать не вполне благоприятное влияние, если после них в течение дня была ветреная и солнечная погода, способствующая быстрому образованию корки.

Если корка, образовавшаяся на поверхности почвы, не разрушена, то она не только ставит корневую систему растения в неблагоприятные условия, но и увеличивает бесполезный сток последующих осадков.

Поэтому борьба с поверхностной коркой и немедленное разрушение ее после образования — важнейший агротехнический прием.

## ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ВОЗДУХА

## 1. Значение температуры воздуха для сельского хозяйства

Значение температуры воздуха для сельского хозяйства общеизвестно. На каждой стадии развития растения нуждается в определенном комплексе внешних условий и прежде всего в известных условиях температуры. Потребность растений в различные стадии развития различна. Так, озимые растения в начальной стадии развития нуждаются в температурах, близких к  $0^{\circ}$ . Они проходят стадию яровизации. При этом, однако, необходимы соответствующая влажность и аэрация. По данным И. С. Шатилова, у многолетних трав и озимой пшеницы заметный фотосинтез происходит при отрицательных температурах. Интенсивность этого процесса характеризует морозостойкость растений.

Дальнейшее развитие и рост растений также тесно связаны с ходом температуры. Повышение температуры влечет за собой повышение темпа развития и роста. При низких температурах растение гибнет.

Исследования показали, что причины гибели растения от мороза заключаются в следующем. При действии отрицательных температур на растение замерзает вода, содержащаяся в оболочке клеток и в межклеточном пространстве. Образовавшиеся кристаллы льда оттягивают воду из клеток. Протоплазма постепенно обезвоживается; клеточный сок становится все более концентрированным. Растущие ледяные кристаллы увеличивают давление на клетку. Все вместе приводит к свертыванию коллоидных веществ плазмы, она утрачивает непроницаемость и после оттаивания оказывается мертвой.

Высокая температура и большая сухость воздуха, ветер и связанное с этим усиленное испарение губительно действуют на растение, в частности на палии зерна. Нарушается нормальный ток питательных веществ из листьев в созревающие семена. Происходит так называемый захват зерна и резкое снижение урожайности. Захват будет тем сильнее, чем больше к началу засухи будет развиты листовая поверхность. Поэтому особенно неблагоприятными условиями для урожая являются такие, когда высокие температуры и засушливый период наступают после влажной и теплой весны, благоприятствующей развитию зеленой массы растений.

Некоторые растения отличаются чрезвычайно высокой требовательностью к температуре. Так, некоторые сине-зеленые водоросли растут в горячих источниках.

Температурные условия оказывают всестороннее влияние на рост и развитие растений во всех фазах. Имеет значение и средняя температура всего вегетационного периода и каждой фазы. Имеют значение также крайние температуры, периоды наступления морозов и высоких температур, их продолжительность и повторяемость.

Температура воздуха, несомненно, является одним из ведущих факторов внешней среды, от которой зависят развитие и рост растений.

## 2. Методы измерения температуры воздуха

При измерении температуры воздуха обычно определяют ее величину, ход, а также максимальное и минимальное значение.

Основным прибором для измерения температуры воздуха является **термометр**. Устройство его общеизвестно. Имеется, однако, большое число различных конструкций термометров, отличающихся размерами и некоторыми техническими деталями; они имеют различное назначение и различные названия.

**Нехромометрические термометры** служат для определения температуры и влажности воздуха. Резервуар термометра имеет шаровидную форму. Эти термометры сравнительно большого размера. Их устанавливают в метеорологических будках попарно; один из них **смоченный** (стр. 137), другой в отличие от смоченного называется **сухим**. По показаниям сухого и смоченного термометров определяют температуру и влажность воздуха. Цена нанесенных на шкале делений  $0^{\circ}, 2$ .

Термометры аспирационного нехромометра имеют меньший диаметр. Резервуар термометра цилиндрический. Цена деления  $0^{\circ}, 2$ . Термометры этой конструкции обладают большой чувствительностью. Они применяются также для установки в защитах и в фитонехромометрах.

**Срочный термометр** предназначен для определения температуры поверхности почвы. Резервуар его цилиндрический. Цена нанесенных на шкале делений  $0^{\circ}, 5$ .

**Максимальный термометр**. Его назначение измерить максимальную температуру, которая наблюдалась с момента выкладки термометра до момента наблюдения. Цена нанесенных на шкале делений  $0,5^{\circ}$ .

Термометр устанавливают в горизонтальном положении. Особенности его устройства следующие. В самом начале капиллярной трубки, около резервуара термометра, сделано сужение; оно достигается тем, что в капилляр (рис. 81) входит конец стеклянного штифта, прижатого к внутренней стенке резервуара;

#### 4. Установки для измерения температуры в приземном слое воздуха и среди культур

Установка для измерения температуры в приземном слое воздуха и среди культур должна соответствовать следующим условиям: защищать резервуар термометра в любой день и час от действия прямых солнечных лучей; в то же время защита не должна мешать вентиляции термометров ни при какой, даже самой малой скорости ветра. Установка не должна иметь таких объемов, в которых воздух мог бы застаиваться и искажать показания термометров.

Наконец, установка должна иметь минимальный объем, чтобы своей массой возможно меньше влиять на окружающий воздух. Этим условиям соответствует установка, показанная на рисунке 86.

Защита для термометра состоит из двух вложенных одна в другую конических поверхностей, скрепленных эбонитовыми штифтами на расстоянии 8—10 мм одна от другой. Выпуклые части обеих поверхностей окрашены белой краской; они должны по возможности отражать падающую на них радиацию. Вогнутые поверхности окрашены черной краской; они должны по возможности поглощать падающую на них радиацию, а не отражать на резервуар термометра. Защита не мешает циркуляции воздуха, она невелика по размеру и вполне может быть установлена среди культур или в кроне дерева. В защиту может быть помещен не только резервуар термометра, но и другой термоприемник: спай термопары, спираль термометра сопротивления, полупроводниковый приемник и др. При установке защиты боковой вырез ее должен быть направлен на север.

Размер боковых вырезов и высота защиты зависят от географической широты места. При продвижении к северу вырез защиты должен уменьшаться. За Полярным кругом его не должно быть вообще, так как здесь наблюдается незаходящее солнце, но зато высота солнца над горизонтом невелика, поэтому по высоте защита может быть небольшой; верхнее круглое отверстие ее может

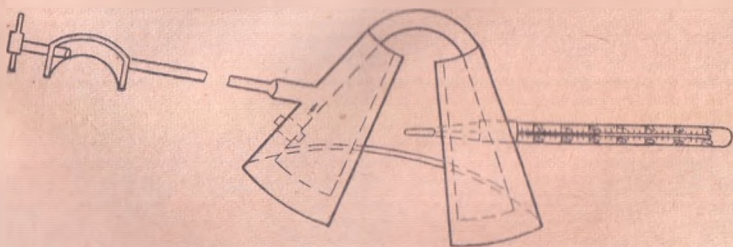


Рис. 86. Защита для термометра.

быть расширено. На полюсе защита имеет форму цилиндра, открытого сверху и снизу.

При движении на юг боковой вырез защитки расширяется, и на экваторе он равен почти половине ее; верхнее отверстие уменьшается, сводится к нулю; защитка принимает форму половины полного конуса. Термометр может быть поставлен вертикально в вершине конуса.

Для установки *самопишущих* приборов в приземном слое воздуха можно пользоваться навесом (рис. 87).

Размеры его показаны на рисунке. Он представляет собой две наклонные деревянные поверхности, выкрашенные белой краской. Навес имеет одну переносную стенку с жалюзи, которая в утренние часы навешивается с восточной стороны навеса, а в вечерние часы — с западной стороны для защиты приборов от действия прямых солнечных лучей при малых высотах солнца при восходе и закате; кроме того, навес имеет жалюзийную стенку для подвешивания ее с передней стороны, если солнце в суточном ходе при восходе и закате уходит далеко на север.

Навес свободно продувается, вентилируется, в нем не может быть застойного воздуха.

На рисунке 87 справа показаны также самопишущие приборы малого размера, специально построенные для установки среди культур и в приземном слое воздуха.

## 5. Нагревание и охлаждение атмосферы

Атмосфера нагревается от земной поверхности. Солнечная радиация, пройдя через атмосферу, падает на земную поверхность и нагревает ее. Отсюда идет дальнейшее перераспределение тепла: часть его передается в глубь почвы, часть расходуется на испарение воды и часть идет на нагревание атмосферы и излучение.

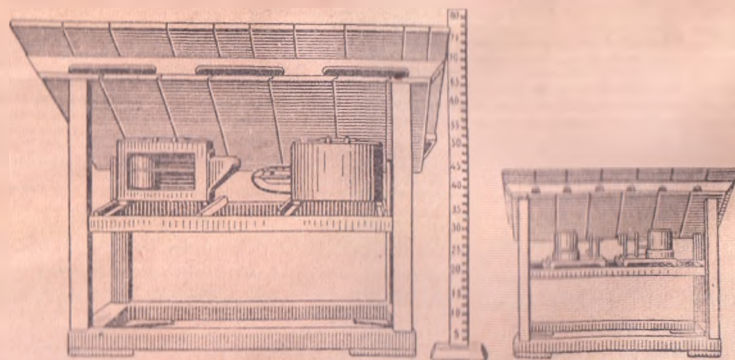


Рис. 87. Навес для самописцев.

Нагретый слой вытесняется более холодными массами воздуха, подтекающими с боков и сверху. В результате в атмосфере возникают вертикальные токи, *тепловая конвекция*, а также некоторые горизонтальные перемещения воздуха. Наличие множества вертикальных струек воздуха, движущихся вверх и вниз, можно обнаружить, если смотреть вдоль нагретой песчаной или каменной поверхности: изображения удаленных предметов колеблются. Кроме того, возникает *турбулентное перемешивание*, которое резко увеличивает теплопроводность воздуха. В результате теплота поверхностного слоя земли передается приземному слою атмосферы и постепенно распространяется вверх.

Теплообмен между почвой и воздухом и между отдельными слоями воздуха происходит также путем радиационного потока, длинноволнового излучения. Об этом было сказано в главе II. Этот перенос тепла происходит непрерывно, независимо от движения воздуха.

Таким образом, главнейшими факторами теплообмена между почвой и воздухом являются конвективный и турбулентный обмен, а затем радиационный поток. Действие молекулярной теплопроводности не учитывается вследствие его малости.

Следует отметить также перенос тепла в скрытом виде вместе с водяным паром, поступающим в атмосферу при испарении с влажной почвы или с водной поверхности.

Каждый грамм водяного пара несет скрытое тепло в количестве около 600 кал. При конденсации водяного пара это скрытое тепло освобождается и идет на нагревание воздуха.

Все указанные выше процессы передачи тепла, взаимодействуя, обуславливают наблюдаемое распределение тепла в атмосфере и его изменчивость в зависимости от пространства и времени.

В дневные часы поверхность почвы получает наибольшее количество тепла; температура приземного слоя воздуха также достигает максимума; с высотой время наступления максимальной температуры воздуха запаздывает.

В ночные часы земля охлаждается и охлаждает приземный слой воздуха; нередко температура воздуха, начиная от земной поверхности, с высотой не падает, как это бывает в дневные часы, а возрастает.

Такое распределение температуры с высотой, как было указано ранее, носит название *те м п е р а т у р н о й и н в е р с и и*.

Причиной инверсии может быть также накопление холодных масс, *стекающих по склонам возвышенности в низину*. В весеннее время инверсия в нижних слоях может образоваться вследствие притока теплых воздушных масс на еще холодную поверхность земли или на снежный покров.

Температурные инверсии могут наблюдаться в свободной атмосфере на любом уровне. Причины возникновения их в атмосфере



разнообразны; например, инверсия может образоваться при нажатии теплых воздушных масс на холодные. Наибольшее значение для сельского хозяйства имеют инверсии в приземном слое.

Расположение холодных, плотных масс воздуха внизу делает атмосферный слой устойчивым. Вертикальные движения в нем не развиваются, а при случайном возникновении глоснут, атмосфера возвращается в исходное устойчивое состояние.

Суточная амплитуда температурных колебаний на поверхности почвы имеет максимальное значение; с высотой она уменьшается. В приземном слое воздуха это уменьшение амплитуды с высотой может быть очень значительным.

Так как интенсивность турбулентного теплообмена в значительной степени зависит от температуры подстилающей поверхности, то можно сказать, что турбулентный теплообмен в южных и особенно в юго-восточных областях усиливается, в северных ослабевает.

Песок и чернозем нагреваются до высокой температуры и тем усиливают турбулентный теплообмен; наоборот, трава, зеленая растительность, кусты, лес и особенно влажная и болотистая поверхность почвы не способствуют вертикальному теплообмену.

В зимнее время снежный покров не создает вертикального теплообмена.

## 6. Распределение температуры воздуха с высотой в свободной атмосфере. Вертикальная устойчивость атмосферы

С высотой температура воздуха в свободной атмосфере непрерывно падает. Непосредственные измерения показали следующее (табл. 44).

Таблица 44

Распределение температуры воздуха с высотой в свободной атмосфере			
Высота (в км)	Температура (в °)	Высота (в км)	Температура (в °)
1	4,6	9	-44,1
3	-4,9	11	-52,8
5	-16,9	13	-54,4
7	-30,7	15	-54,3

Из данных таблицы видно непрерывное понижение температуры с высотой до уровня 13 км. Выше понижение температуры прекратилось. Падение температуры идет неравномерно, наиболее сильно оно выражено в слое 5—9 км. В среднем можно принять, что на каждые 100 м поднятия в свободной атмосфере температура

показывается на 0,5—0,6. Величина изменения температуры на каждые 100 м высоты носит название вертикального температурного градиента. Эта величина характеризует устойчивость атмосферы.

Допустим, что 1 кг воздуха, имеющий температуру окружающего воздуха, по какой-либо причине начинает подниматься вверх. Переходя в слой воздуха с меньшей упругостью, поднимающийся воздух будет непрерывно расширяться; при этом, как показывает теория, поднимающийся воздух на каждые 100 м поднятия на работу расширения будет терять  $1^{\circ}$ . Следовательно, на высоте 100 м поднимающийся воздух будет на  $0,5^{\circ}$  холоднее окружающего воздуха. На высоте 200 м он окажется холоднее окружающего воздуха на  $1^{\circ}$  и т. д.

Иначе говоря, температура поднимающегося воздуха на всех высотах будет ниже температуры окружающего воздуха.

Если рассматриваемый 1 кг воздуха не поднимать дальше вверх, а предоставить самому себе, то он, как более холодный и более плотный, чем окружающая среда, начнет падать вниз и возвратится в исходное положение. Если тело, выведенное из положения равновесия и предоставленное самому себе, возвращается в исходное положение, то такое равновесие называется *устойчивым*.

Следовательно, атмосфера, в которой температура на каждые 100 м высоты уменьшается на  $0,5^{\circ}$ , находится в устойчивом состоянии; возникающие по каким-либо причинам вертикальные движения автоматически затухают.

Нетрудно видеть, что в устойчивой атмосфере не могут развиться движения не только снизу вверх, но и сверху вниз. В самом деле, опускающаяся масса воздуха будет нагреваться через каждые 100 м на  $1^{\circ}$  и окажется теплее окружающей атмосферы. Предоставленная самой себе, как более теплая и менее плотная, она поднимается вверх, т. е. возвратится в исходное положение.

Допустим теперь, что в окружающей атмосфере температура падает на каждые 100 м подъема больше чем на  $1^{\circ}$ . Тогда поднимающаяся масса газа, которая охлаждается на каждые 100 м только на  $1^{\circ}$ , на всех высотах будет теплее окружающей среды; плотность ее будет меньше и возникшее вертикальное движение будет продолжаться; масса воздуха, предоставленная самой себе, будет продолжать уходить от исходного положения. В этом случае атмосфера находится в состоянии *неустойчивого* равновесия: возникшее по какой-либо причине вертикальное движение будет развиваться.

Такой же результат получится и в случае нисходящих движений: опускающаяся воздушная масса будет нагреваться на каждые 100 м падения на  $1^{\circ}$ , в то время как в окружающем воздухе возрастание температуры будет больше чем на  $1^{\circ}$ . Опускающаяся воздушная масса на любом уровне будет холоднее окружающих

масс воздуха и, как более плотная, будет стремиться продолжать свое падение, уходить от первоначального состояния равновесия.

Таким образом, величина вертикального температурного градиента служит показателем того, в каком состоянии равновесия находится атмосфера.

Если на каждые 100 м поднятия температура падает меньше чем на  $1^\circ$ , т. е. если вертикальный температурный градиент меньше  $1^\circ$ , то атмосфера находится в устойчивом состоянии равновесия. Если же вертикальный температурный градиент больше  $1^\circ$ , то атмосфера находится в неустойчивом состоянии равновесия; возникающие по какой-либо причине вертикальные движения будут развиваться.

Все сказанное можно применить к слою любой толщины, а не только к слою толщиной 100 м.

Допустим, что температура была измерена в двух точках, отстоящих по вертикали на  $H$  см, и оказалась равной соответственно  $t_0$  и  $t_n$ . Тогда вертикальный градиент на 100 м ( $B$ ) можно рассчитать по формуле:

$$B = (t_0 - t_n) \frac{10\,000}{H}.$$

В формуле величина 10 000 — число сантиметров в 100 м, число  $\frac{10\,000}{H}$  показывает, сколько раз содержится в 100 м отрезок, на концах которого температура оказалась равной  $t_0$  и  $t_n$ .

Величина  $B$  показывает, насколько изменилась бы температура в слое 100 м, если бы изменение температуры было таким же, как в измеренном слое. Эта величина также носит название вертикального температурного градиента и характеризует величину изменения температуры в заданном слое воздуха.

Очевидно, составляя значения  $B$  для различных слоев, можно сравнивать их между собой и судить о степени вертикальной устойчивости воздуха в каждом слое.

## 7. Приземный слой воздуха; распределение в нем температуры

Как было указано, в свободной атмосфере температура с высотой на каждые 100 м падает приблизительно на  $0,5-0,6^\circ$ . Падение температуры в некоторых слоях сменяется повышением температуры, т. е. инверсиями.

Особое значение для сельского хозяйства имеет приземный слой ориентировочно до 2 м, в котором протекает жизнь большинства сельскохозяйственных культур и многих животных.

Приземный слой воздуха обладает очень важным свойством: в нем вертикальные градиенты всех метеорологических элементов,

## II. Распределение температуры среди растительности

Большое влияние на распределение температуры в приземном слое оказывает растительный покров.

Поверхность растительного покрова может быть сплошной. Она принимает на себя прямую и рассеянную солнечную радиацию. От этой поверхности, называемой деятельным слоем, идет расходование полученной энергии на физиологические процессы, испарение, нагревание, нагревание атмосферы, излучение.

В дневные часы растительный покров имеет более высокую температуру, чем окружающий воздух, в ночные часы — более низкую. На солнце обычная разность температур листа растения и окружающего воздуха достигает 1—2°. Стеклоящиеся растения, в меньшей степени вентилируемые ветром, дают разности до 5—10° и выше. Особенно большой перегрев растений наблюдается в области влажных субтропиков, т. е. там, где наблюдаются высокие температуры воздуха и высокая его влажность, которая снижает испарение и охлаждение растений. Разница температур воздуха на высоте 30 см от поверхности почвы в рядах растений в 7 часов достигает 3°,4; в 13 часов она уменьшается; в 19 часов температура среди виноградника ниже, чем в окружающем воздухе. На поверхности почвы разность температур достигает 10—15°; разность относительной влажности — 10—12%. Созревание плодов в непосредственной близости к земной поверхности наступает значительно раньше, чем в верхних частях кустов.

К. К. Хмелевский при помощи фотоэлектрического люксметра изучал также среди виноградника освещенность. Измерения проводились в разные часы, на разных высотах и с разных сторон. Наблюдения показали большую сложность распределения и большие различия освещенности в разных частях виноградных кустов. Полученные данные могут быть использованы при разработке методики формирования виноградных кустов.

Наблюдений среди культур довольно много; к сожалению, они разнообразны по перечню, срокам и продолжительности наблюдений, по культурам и условиям, в которых они находятся. Они представляют существенный научный интерес.

На рисунке 89 показаны термомониторы температуры почвы под кукурузой, составленные доцентом Г. Е. Мицик для Краснодара.

График составлен следующим образом: на листе миллиметровой или клетчатой бумаги по горизонтальной оси в известном масштабе нанесены месяцы года. По вертикали нанесены глубины, в данном случае от 0 до 20 см. Для любой наблюдаемой температуры известны эти две величины: глубина и дата наблюдения. На пересечении вертикали, проходящей через дату наблюдений, и горизонтали, проходящей через глубину, на которой произведено наблюдение, поставлена полученная температура. Если наблюдений

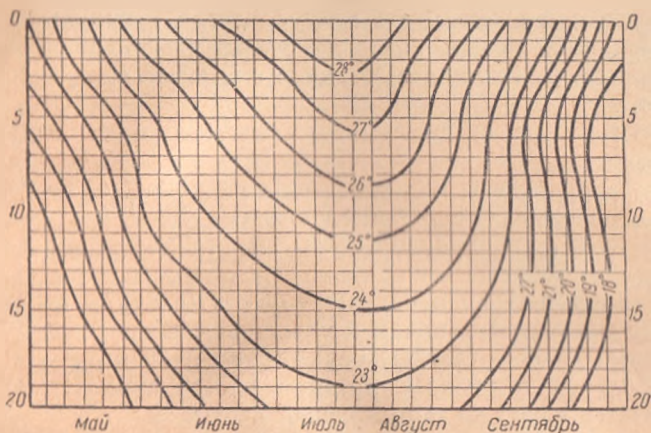


Рис. 89. Термоизоплеты почвы под кукурузой.

достаточно много, то весь график окажется покрытым числами. Через одинаковые значения этих чисел проведены сплошные кривые, и на конце их написано число, которому соответствует данная кривая.

Такой график дает возможность, например, для любого уровня определить ход температуры по времени, для любой календарной даты определить распределение температуры с глубиной, определить период времени, в течение которого температура на заданном уровне превышает заданный предел, ответить на другие подобные вопросы о температурном режиме почвы под данной культурой.

В почные часы температура растений ниже температуры окружающего воздуха, разности достигают  $1-2^{\circ}$ . Это важное обстоятельство. Растения, например такие, как огурцы, картофель, томаты и др., в ясную, безоблачную ночь могут померзнуть при температуре  $1^{\circ}$ , так как в это время температура самого растения может быть отрицательной. Поэтому опасной температурой в приземном слое воздуха следует считать не  $0^{\circ}$ , а  $2^{\circ}$ .

Температура среди растений зависит от высоты растительности, густоты стояния растений и высоты солнца над горизонтом, т. е. в конечном счете от степени проникновения солнечной энергии в глубь растительного покрова. При высокой растительности летом в дневные часы наиболее низкие температуры наблюдаются у поверхности почвы. При низкой растительности лучи достигают земной поверхности и подогревают ее.

Приведем пример распределения метеорологических элементов среди культур. По исследованиям Н. П. Овчинникова и А. В. Сучкова, климат в кукурузном поле существенно отличается от климата расположенного рядом парового поля. Разность температур на уровне 20 и 200 см от поверхности почвы днем равна  $1-2^{\circ}$ .

Относительная влажность воздуха среди культуры в среднем на 3—5% выше, чем на пару; наибольшая разница наблюдается в утренние часы. Влажность воздуха с высотой изменяется незначительно.

Скорость ветра среди культуры на 3—5 м/сек меньше, чем на пару.

Температура почвы под растительным покровом ниже, чем на оголенном участке. В верхнем слое почвы (5—10 см) температура ниже на 3—5°; на глубине 15—20 см эта разница равна 0,5—2°,0.

Суммарная солнечная радиация среди культуры сильно ослаблена. До поверхности почвы в утренние часы доходит 30—40%, а в дневные часы — 50—70% суммарной радиации.

Температура отдельных органов растения на 1—2° отклоняется от температуры окружающей среды.

Климат в виноградушке изучал К. К. Хмелевский. Оказалось, что значения метеорологических элементов на метеорологической площадке существенно отличаются от величин, полученных среди растений на виноградушке. Наибольшая разница наблюдается в ясные дни.

## 9. Суточный ход температуры воздуха. Влияние рельефа

При помощи самопишущего прибора — термографа — легко обнаружить, что температура воздуха имеет довольно правильный суточный ход. Минимальное значение температуры наблюдается около восхода солнца. С этого времени температура воздуха непрерывно повышается; наибольших значений она достигает в 14—15 часов, после чего начинается падение температуры, которое продолжается до восхода солнца. Таким образом, в суточном ходе кривая имеет один максимум и один минимум. Разность между наибольшим и наименьшим значением температуры носит название амплитуды суточных колебаний температуры воздуха.

Амплитуда температурных колебаний является важной характеристикой климата. Она зависит от ряда условий. Чем дальше к северу, тем меньше величина суточной амплитуды. В средних широтах она равна 12—15°, на широте 80° она равна 2—5°.

Амплитуда зависит также от времени года. В зимние месяцы при малой высоте солнца в средних широтах она понижается до 2—3°.

На величину суточной амплитуды температуры большое влияние оказывает подстилающая поверхность. Над большими водными пространствами — над морями и океанами — суточная амплитуда не превышает 1—2°. Над материками, особенно над пустынями без растительности, амплитуды суточных колебаний температуры могут достигать 20°, а в отдельных случаях — 30° и выше.

Как показал А. И. Воейков, на суточный ход температуры большое влияние оказывает рельеф местности. *Над выпуклыми формами рельефа амплитуды невелики. Воздух мало соприкасается с поверхностью почвы, а главное — свободно вентилируется.*

*В долинах и замкнутых котловинах амплитуды относительно велики.* Вниз с соседних склонов скатываются холодные воздушные массы. Вследствие отсутствия вентиляции воздух застаивается. Излучение земли способствует еще большему охлаждению воздуха и наступлению низких температур. В дневные часы нагревание склонов неветилируемой котловины способствует повышению температуры воздуха. В результате *в долинах и замкнутых котловинах суточные амплитуды температуры воздуха возрастают.*

Из сказанного вытекает, что ветер — непрерывная смена воздушных масс — играет большую роль в ходе температуры. Вблизи земной поверхности скорость ветра вследствие трения о земную поверхность постепенно ослабевает. Следовательно, *чем ближе к земной поверхности, тем амплитуды суточных колебаний температуры становятся больше.*

Важный фактор, от которого в значительной мере зависит величина суточных колебаний температуры — *облачность*, которая, прекращая доступ солнечных лучей, снижает максимальные значения температуры. В то же время облачность препятствует ночному излучению и повышает значение ночного минимума. *Облачность резко уменьшает суточные амплитуды. Ясное, безоблачное небо и безветрие действуют в обратном направлении.*

## **10. Влияние леса на суточную амплитуду температуры воздуха**

Полог леса и массив деревьев затрудняют проникновение солнечной радиации к почве, а также уменьшают излучение и охлаждение земной поверхности. Поэтому в лесу амплитуда температурных колебаний меньше, чем на рядом расположенной открытой местности.

На поляне среди леса создаются условия замкнутой котловины. На довольно обширных лесных полянах, окруженных со всех сторон лесом, амплитуда суточных температурных колебаний может быть значительно выше, чем на соседнем поле.

## **11. Годовой ход температуры воздуха**

Годовой ход температуры воздуха зависит от географической широты данного места, а также от характера подстилающей поверхности.

Амплитуда годовых колебаний температуры, т. е. разность между среднемесячными температурами наиболее теплого и

холодного месяца, имеет минимальное значение в экваториальных областях, где высота солнца и течение года изменяется в небольших пределах. В полярных областях годовая амплитуда температуры принимает максимальные значения.

В средних широтах максимальные и минимальные температуры наступают после летнего и зимнего солнцестояния, т. е. соответственно в июле и январе. В этом поясе четко выражено переходное время от летнего сезона к зимнему — осень и от зимнего сезона к летнему — весна. Средние широты имеют большое разнообразие в распределении суши и моря. Здесь располагаются материк Севернoй Америки и Евразии, разделяемые Атлантическим и Тихим океанами. Амплитуды годовых колебаний тем больше, чем дальше от водоемов расположено место наблюдения.

В таблице 46 даны значения амплитуд для Гебридских островов, расположенных у западных берегов Шотландии, и Киренска, расположенного в центре Азиатского материка около Иркутска. В той же таблице даны средние температуры по сезонам.

Таблица 46

Распределение амплитуд и средних температур

Пункты	Амплитуда температуры	Средние температуры (в °)			
		зима	весна	лето	зима
Гебриды	7,8	5,6	6,7	12,2	9,4
Киренск	47,5	-29,0	-1,7	17,0	-3,2
Разность	39,7	30,6	8,4	4,8	12,6

В Киренске наблюдаются резкие колебания температур, в то время как на Гебридах под влиянием воды ход температуры более умеренный. Так создаются климаты континентальный — с большими амплитудами температуры и морской — с умеренными колебаниями температуры. Эти климаты различаются также по значениям других метеорологических элементов.

## 12. Микротермические колебания в приземном слое воздуха

Различные участки земной поверхности нагреваются по-разному. Это относится и к большим площадям, покрытым или не покрытым растительностью, имеющим разную экспозицию, разную влажность, разный состав почв, и к малым участкам, к микро-рельефу, к отдельным агрегатам почвы.



Приемный слой атмосферы в температурном отношении неоднороден; небольшие объемы и отдельные струи более теплого воздуха сменяются более холодным воздухом.

Если такая сложная в температурном отношении масса воздуха передвигается и встречает на своем пути приемник термографа, то прибор будет записывать микротермические колебания. Кривая хода температуры представляет собой зубчатую зигзагообразную кривую. Число таких колебаний в единицу времени характеризует степеней развития микротермических колебаний<sup>1</sup>.

Чем больше продолжительность солнечного сияния и выше температура воздуха, тем сильнее микроколебания, больше число их в единицу времени, больше амплитуда колебаний. Возрастание относительной влажности и облачности оказывает обратное влияние — уменьшает микротермические колебания, сглаживает кривую хода температуры.

Микротермические колебания возникают через 2—3 часа после восхода солнца; максимального развития они достигают в 12—14 часов и затухают к 20—22 часам.

Из сказанного вытекает, что приземный слой воздуха — самостоятельный объект, резко отличающийся от вышерасположенных слоев атмосферы, требующий для исследования его свойств особых методов и специальных приборов, отличающихся от методов и приборов, применяемых в общей метеорологии.

### 13. Оценка температурных условий данной местности. Суммы температур

При оценке температурных условий местности для сельского хозяйства используют различные данные. Прежде всего вычисляют *среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые температуры*. Однако эти величины дают только грубую ориентировку. По ним еще нельзя судить об условиях произрастания той или иной культуры. При любых средних величинах условия роста и развития культур могут быть самыми разнообразными, благоприятными или неблагоприятными.

Необходима большая детализация данных о температуре. Для этого вычисляют не только указанные выше средние величины, но и средние за пятидневку, за декаду, по фазам развития растений, подсчитывают повторяемость отдельных температур, отмечают максимальные и минимальные значения. Вычисляют также *амплитуды температурных колебаний*. Величина амплитуды — одна из важнейших характеристик климата: континентальный климат характеризуется большими амплитудами, морской — ма-

<sup>1</sup> В. И. Шенников и др. О микротермических колебаниях. Научное исследование атмосферы, вып. 2 и 3, 1925—1926. Изд. Моск. агр. обсерватории.

дами. Подчеркивают также, в каких сочетаниях различные значения температуры наблюдаются с различными значениями других элементов, например влажности воздуха, скорости ветра. Одни и те же значения температуры могут оказывать на растение и животных разное влияние в зависимости от значений других элементов.

При оценке температурных условий данной местности в сельскохозяйственной литературе довольно широко применяют так называемую *сумму температур*. Рассмотрим эту теорию сумм температур более подробно.

Она вычисляется простым суммированием за определенный промежуток времени среднесуточных положительных температур. Так как небольшие положительные температуры еще не означают начало жизнедеятельности растений, то иногда проводят подсчет суммы температур не от 0°, а от какой-то другой начальной температуры, например от 5 или от 10°. В основе таких расчетов лежит произвольное предположение, что все культуры или известная группа их начинают вегетировать при определенной температуре, в данном случае при 5 или 10°. В этом случае сумму температур называют «суммой эффективных температур». Предполагается, что только выше какого-то уровня, принятого за начальный, температура начинает эффективно воздействовать на физиологические процессы в растении, на его рост и развитие.

Такой метод характеристики температурных условий данной местности впервые был введен Реомюром, который в течение апреля, мая и июня 1734 и 1735 гг. проводил ежедневные измерения температуры в 6 и 15 часов; затем суммировал температуры за указанные месяцы и годы и сравнивал их с величиной урожая. Таким путем Реомюр обнаружил, что сумма температур не остается постоянной, а изменяется от одного года к другому, в связи с чем изменяется и величина урожая.

В 1860 г. Буссенго поставил такие же опыты, но в гораздо большем масштабе и впервые высказал предположение, что «растение требует известной суммы тепла для того, чтобы выполнить полный цикл своего развития».

Этот примитивный способ характеристики термических условий, предложенный свыше 230 лет назад, продержался до наших дней; и в настоящее время некоторые авторы пользуются суммами температур для характеристики термических условий данной местности, для указания потребности растений в тепле и для решения различных важнейших вопросов сельскохозяйственной науки и практики, например для агроклиматического районирования.

Необходимо рассмотреть, насколько этот метод применим при современном уровне биологической науки.

Чтобы метод сумм температур имел хоть какое-нибудь научное или производственное значение, необходимо, чтобы *сумма тем-*

температур, характеризующая, например, потребность растения в тепле в различные фазы его развития, обладала известной устойчивостью, постоянством.

Уже первые опыты Буссенго показали, что такой устойчивости нет: для картофеля суммы температур колеблются больше чем на  $300^{\circ}$ , для манса — больше чем на  $400^{\circ}$ .

При дальнейших опытах эта неустойчивость сумм температур многократно подтвердилась.

Это непостоянство было объяснено несовершенством методов подсчета. Действительно, при сложении среднесуточных температур от  $0^{\circ}$  в сумму включаются температуры ниже известного предела, которые не содействуют вегетации данного растения, и очень высокие температуры, которые могут ослабить физиологические процессы в растении.

Однако исследования, проведенные разными специалистами, показали, что дело не только в несовершенстве методов подсчета.

В свете современной биологической науки постоянства сумм температур не может быть; оно противоречило бы основным положениям диалектики. Отметим главнейшие причины, по которым суммы температур не могут быть устойчивыми.

Растение всегда реагирует на комплекс метеорологических элементов, а не на одну температуру.

Одна и та же температура в зависимости от значений других элементов комплекса может содействовать росту и развитию растения или может угнетать растение. Так, в Ашхабаде сумма температур (выше  $10^{\circ}$ )  $4600^{\circ}$ , в Сухуми  $4700^{\circ}$ . Однако вокруг Ашхабада выжженная солнцем пустыня, в то время как Сухуми находится в области влажных субтропиков с необычайно благоприятными условиями для роста и развития растений. Все дело в том, что в районе Сухуми почва и воздух содержат большое количество влаги.

Следовательно, по значению одной суммы температур никаких заключений по агроклиматическому районированию, а также по термическим ресурсам, полезным для возделывания данной культуры, делать нельзя.

Реакция растений на температуру в течение вегетационного периода непостоянна; об этом свидетельствуют, например, стадийность развития растений, существование оптимальных температур развития, фотопериодизм и др. Поэтому реакция растения на температуру не проста и не может быть выражена в виде какой-либо формулы, имеющей единый вид и одинаковые константы для всего периода вегетации.

А. Н. Воеков, обсуждая действие температуры на растения, писал: «...здесь действуют несравненно более сложные факторы и, кроме температуры воздуха, нужно в особенности взять в расчет прямое действие солнечного света и тепла растения. Никто не

сомневается в том, что наши хлебные растения не дадут вполне зрелых семян без прямого действия солнца, хотя бы сумма температур была и выше<sup>1</sup>. Воейков выразил сомнение в том, что имеется пропорциональность влияния тепловой энергии солнечных лучей на растение; он рекомендовал вводить приблизительные поправки на степень облачности и продолжительность дня, но не указал, как это осуществить.

Следует отметить также, что температуры, которые суммируются, наблюдаются на высоте 2 м от земной поверхности. Среди растений температуры воздуха существенно другие; разница может быть значительной и достигать 7—10°, причем в дневные часы растение находится в условиях более высокой температуры, ночью, наоборот, — в условиях пониженных температур. Поэтому для точного определения скорости развития растений в зависимости от температуры среды необходимо учитывать реальный режим тепла, в условиях которого происходит это развитие. Простой же учет среднесуточных температур воздуха на высоте 2 м для этого недостаточен.

*Необходимая растению сумма температур зависит также от климата местности.* Так, пшеница в условиях влажного климата требует большей суммы температур, чем в условиях сухого климата.

В одном и том же месте в разные годы в зависимости от течения погоды суммы температур будут разными. Поэтому подсчет сумм температур, по многолетним данным, дает разные результаты в зависимости от амплитуды температурных колебаний в отдельные годы, от величины крайних температур, их повторяемости, продолжительности и т. д.

Следует отметить также, что *растение нуждается не только в известной сумме температур, но и в известном распределении их по вегетационному периоду.* Оно может быть выгодным, соответствующим потребностям растения в различные фазы его развития, может быть и не допускающим возделывания данной культуры. Следовательно, *при одной и той же сумме температур условия произрастания культур могут быть различными.*

П. П. Колосков приводит следующие примеры различного распределения температур при одной и той же сумме<sup>2</sup>. Расчет ведется от дня со среднесуточной температурой 5°.

Якутск (62°,0 с. ш.) и Чердынь (60°,3 с. ш.) Пермской области имеют одинаковые суммы температур 1500°, но в течение двух с половиной месяцев температура в Якутске значительно выше, чем в Чердыни. Разница достигает 3° и больше. Конец периода теплое в Чердыни.

<sup>1</sup> А. П. Воейков. Климаты земного шара. Избр. соч., т. 1, 1948, АН СССР, стр. 386.

<sup>2</sup> П. П. Колосков. Агроклиматическое районирование Казахстана. АН СССР, 1947.

Сумма температур в Измаиле ( $45^{\circ},3$  с. ш.) и в Казалинско ( $45^{\circ},9$  с. ш.)  $3600^{\circ}$ , но почти четыре с половиной месяца в Казалинско теплее, чем в Измаиле, причем в течение почти двух с половиной месяцев разница составляет около  $5^{\circ}$ .

Иргиз (Казахстан) имеет сумму температур на  $400^{\circ}$  меньше и расположен на  $3^{\circ}$  севернее; однако в течение трех месяцев в Иргизе температура даже несколько выше, чем в Измаиле.

Как было указано ранее, в Анхабаде сумма температур  $4600^{\circ}$ , а в Судуми на  $100^{\circ}$  больше, но в течение более шести месяцев в Анхабаде температура значительно выше, разности средних величин достигают  $6^{\circ}$ . Условия произрастания растений резко различные.

Подобные примеры показывают, что по величине суммы температур нельзя судить об их распределении по отдельным частям периода, а следовательно, и о том, насколько они благоприятны данной культуре.

*Необходимые суммы температур зависят также от вида и даже сорта культуры.* Эти разности могут перекрывать различия между отдельными сельскохозяйственными культурами.

С. А. Остроумов в течение нескольких лет изучал методы предсказания сроков наступления различных фаз озимой ржи и пришел к выводу, что: «1) фазы наступают и проходят не под влиянием одного фактора, а под влиянием комплекса; 2) изменение напряжения одного из условий комплекса влечет обязательное изменение влияния других условий, составляющих комплекс; 3) следовательно, на основе одного какого-либо фактора, например термического, нельзя точно предвычислить продолжительность любой текущей фазы у растений и дату наступления последующей, что и подтверждается опытами, проведенными в Иркутской и Куйбышевской областях»<sup>1</sup>.

А. С. Подольский выяснил, что все теории постоянства сумм температур и нижних пределов, при которых начинается вегетация, исходит из предположения, что между скоростью развития растений и температурой имеется точная гиперболическая или линейная связь. Но так как скорость развития растения, несомненно, зависит не от одной температуры, а от многих факторов, то такой точной математической связи быть не может, а следовательно, не может быть и постоянства сумм температур и нижних пределов начала вегетации.

Такое постоянство могло бы быть только в условиях устойчивости остальных метеорологических элементов, т. е. в местах, где ход погоды изо дня в день был бы один и тот же, с течением времени изменялась бы только температура.

<sup>1</sup> С. А. Остроумов. Влияние температуры воздуха, суммы осадков и числа пасмурных дней на продолжительность фаз у основных растений полевой культуры. Ученые записки Иркутского финансово-экономического института, вып. 4, 1957.

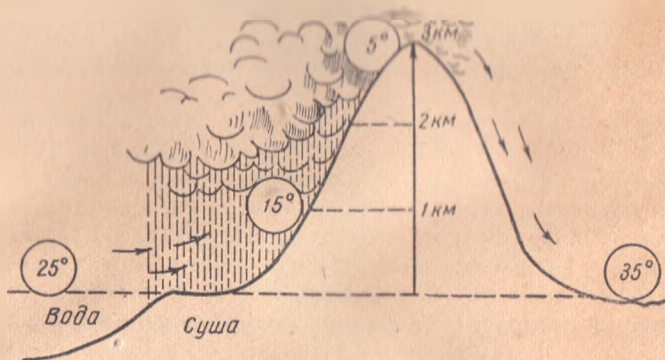


Рис. 90. Схема вертикальных движений в атмосфере.

Проходя над морем, воздух в значительной мере обогащается водяным паром. Выйдя на материк, воздушные массы по склону горы начинают подниматься вверх. При этом пока воздух не насыщен водяным паром, он охлаждается на каждые 100 м поднятия на  $1^\circ$ . Процесс охлаждения происходит адиабатически, т. е. без теплового обмена с окружающей средой.

Допустим, что насыщение водяным паром будет достигнуто на высоте 1 км. При этом температура воздуха будет равна  $15^\circ$ .

При дальнейшем поднятии воздуха будет происходить конденсация водяного пара и выделение скрытой теплоты парообразования. Теперь в атмосферу подается известное количество тепла, зависящее от величины скопировавшегося водяного пара. Падение температуры поднимающегося воздуха на каждые 100 м поднятия будет меньше  $1^\circ$ ; ориентировочно можно сказать, что падение температуры будет  $0,5^\circ$  на каждый 100 м поднятия<sup>1</sup>.

До вершины горной цепи поднимающийся воздух дойдет, имея температуру  $5^\circ$ .

При  $15^\circ$  в  $1 \text{ м}^3$  воздуха насыщающего пара содержится 12,8 г. При  $5^\circ$  его может содержаться только 6,8 г. Следовательно, при поднятии воздуха от уровня 1 км до уровня 3 км из каждого  $\text{м}^3$  должно выделиться и скопироваваться 6 г водяного пара. При поднятии воздуха из него выделится значительное количество водяного пара, которое будет непрерывно увеличиваться при подтоке новых воздушных масс.

В результате создадутся мощные облака и осадки.

Таким образом, вертикальные движения в атмосфере приводят к образованию облачности и осадков. Отсюда вытекает, что рельеф оказывает большое влияние на распределение осадков. Около

<sup>1</sup> На самом деле величина падения зависит от температуры и давления воздуха, т. е. величина непостоянная. Практически она изменяется в пределах от  $0,4$  до  $0,8$ .

Каждой горной цепи со стороны господствующих воздушных течений, натекающих на горы, будет больше осадков, чем с противоположной стороны. Разрез пренятствия, изображенного на рисунке, грубо соответствует разрезу через западную часть Кавказского хребта. Количество осадков, выпадающих за год на Черноморском побережье, 2200 мм, в Батуми 2500 мм, в то время как на Северном Кавказе их почти в четыре раза меньше.

Самый теплый океан Индийский, рядом с ним расположены самые высокие горы — Гималайские. Кроме того, в течение полугодия мощные муссоны дуют с Индийского океана в направлении Гималайских гор. В таком сочетании влияние рельефа и вертикальных токов на осадки должно выступить наиболее четко.

Действительно, индийская станция Черра Пунджи зарегистрировала за одни сутки более 1000 мм осадков, т. е. почти двухсуточное количество осадков, выпадающих в Москве. За год в Черра Пунджи количество осадков достигало 16 тыс. мм, т. е. равнялось количеству осадков, которое выпадает в Москве за 40 лет. Такое количество осадков и высокие температуры создают особый климат местности, влияют на развитие растительного и животного мира.

Таково значение вертикальных движений атмосферы, направленных вверх, независимо от того, какова причина этих движений — рельеф или подогрев воздушных масс снизу, который имеет место в экваториальных областях Земли.

Перелетая через горы, воздушные массы при наличии за горами области пониженного давления опускаются вниз. При этом воздушные массы на каждые 100 м снижения нагреваются на  $1^{\circ}$ . После опускания до исходного уровня, т. е. на 3 км, воздух нагревается на  $30^{\circ}$  и окончательная температура его будет  $35^{\circ}$ . Содержание водяного пара будет  $6,8 \text{ г/м}^3$ . При  $35^{\circ}$  в каждом кубическом метре может содержаться до 39,6 г водяного пара. Это значит, что опустившийся воздух будет иметь влажность 17%, т. е. будет очень сухим. Итак, *опускание воздушных масс сверху вниз сопровождается значительным повышением их температуры и уменьшением относительной влажности*. Такие ветры носят название *фён*.

Приведем данные, характеризующие фён, который наблюдался в Орджоникидзе (табл. 47).

Во время этого фёна скорость ветра достигала 18—20 м/сек. Фён сопровождался очень высокими температурами и очень малой влажностью.

Фёны наблюдаются всюду, где имеются горы или значительные возвышенности; особенно часто они наблюдаются на Кавказе, в горах Средней Азии, в Альпах, Карнатах, на Новой Земле, в Гренландии и в ряде других мест.

Особенно часто фён наблюдается в районе Кутанси, Ташкента, в Таграх, Ленкорани, Орджоникидзе.

Ход температуры и влажности воздуха во время фёна

Дата	Температура воздуха (в °С)			Влажность (в %)		
	7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.
24 марта	3,0	12,3	16,4	100	60	26
25 >	15,3	27,3	21,0	24	13	15
26 >	19,4	27,7	20,4	14	12	15
27 >	12,8	24,8	14,5	25	20	64

Фён может быть в любое время года, но преимущественно наблюдается зимой и вызывает значительное повышение температуры.

В районе Ташкента от фёна сходит снежный покров, и температура поднимается настолько, что зимой иногда можно обрабатывать почву и проводить сев. Озимая пшеница может взойти в январе. Осенью сухая фёновая погода благоприятствует сбору хлопка.

Вертикальное опускание воздушных масс может происходить не только по склонам гор в области пониженного давления, но и в центре антициклона. Если антициклон устанавливается над горной областью, например над Кавказским хребтом, то фёновые ветры могут наблюдаться одновременно по обоим склонам горного хребта.

В области, где наблюдаются частые вертикальные движения атмосферы снизу вверх, господствует облачная погода, большая влажность воздуха, частые осадки. В области, где наблюдаются частые вертикальные движения сверху вниз, господствует высокая температура, малая влажность воздуха, безоблачный небесный свод, отсутствие осадков.

Встречающиеся повсюду наклонные поверхности и возвышенности также могут влиять на местное распределение осадков. Наклонная поверхность создает для движущейся воздушной массы вертикальную составляющую, в результате чего происходит постепенное поднятие воздушных масс и на некотором расстоянии от возвышенности, создавшей вертикальную составляющую, выпадают осадки. Так, при известном распределении различных форм рельефа и постоянстве направления ветра в одном районе количество выпадающих осадков может быть систематически меньшим или большим, чем в соседнем районе.



## ВЕТЕР

## 1. Ветер как источник энергии

Ветер — это неисчислимыи запасы энергии, которые в настоящее время используются человеком лишь в ничтожной степени; это так называемый голубой уголь.

Воздушные массы передвигаются на огромных площадях и могли бы выполнять большую механическую работу.

В. И. Ленин в апреле 1918 г. в «Наброске плана научно-технических работ» указывал на необходимость использовать ветряные двигатели вообще и в применении к земледелию<sup>1</sup>.

Ветер работает на людей с древних времен. Парус и ветряк были первыми механическими двигателями, изобретенными человеком. На этом примитивном уровне методы использования энергии ветра оставались в течение тысячелетий. Науку об использовании ветра создал выдающийся ученый Н. Е. Жуковский. Его многочисленные ученики разработали технические методы и машины для использования энергии ветра. Ветровой режим СССР благоприятен для использования ветра в энергетических целях. Более двух третей территории нашей страны имеют средние годовые скорости ветра 5 м в секунду и более. При таких ветрах современные ветродвигатели могут работать устойчиво 200—250 дней в году. Наиболее устойчивые ветры бывают в южных и юго-восточных районах СССР, т. е. как раз там, где ощущается недостаток местного топлива и гидроэнергии.

Преимущество ветродвигателей заключается в том, что любой из них проще в обращении и требует меньшего технического надзора, чем все иные двигатели. Акад. А. Винтер пишет, что 2—2,5 млн. действующих ветродвигателей суммарной мощностью примерно 20—25 млн. квт будут ежегодно экономить 40—50 млн. т угля или соответствующее количество нефти. Очень важным свойством ветроэнергетических агрегатов — относительно низкая стоимость их установки и эксплуатации.

В настоящее время наиболее распространены ветродвигатели марки ТВ-5 (рис. 91) (тихоходный ветродвигатель с диаметром ветрового колеса 5 м, мощность его 2,5 л. с.) и ТВ-8 (мощность до 6 л. с.); они используются для подъема воды и снабжения водой

<sup>1</sup> В. И. Ленин. Соч., изд. 4-е, т. 27, стр. 289.

животноводческих ферм, поляна огородных культур, для привода различных сельскохозяйственных машин.

Широко распространен ветродвигатель Д-12 (диаметр ветрового колеса 12 м). Мощность его достигает 14 л. с. Эта установка предназначена для самых разнообразных целей: освещения, орошения полей, водоснабжения, очистки и помола зерна, молотбы, распиловки леса, кормоприготовления.

Распространен также ветродвигатель Д-18 (рис. 92) (диаметр ветрового колеса 18 м, мощность до 35 л. с.). Эта ветросиловая установка применяется для выработки электроэнергии, а также для механизации наиболее трудоемких процессов в животноводстве, для обмолота зерна и помола муки, для обслуживания различных производственных мастерских и предприятий местной промышленности.

Разработаны также небольшие ветроустановки мощностью до 1 квт. Такие ветроэлектростанции используются для освещения, питания электроэнергией небольших радиоузлов и зарядки аккумуляторов.

Для обеспечения водой отгонных пастбищ пригодна



Рис. 91. Ветродвигатель ТВ-5.

петропассосная установка Д-3, разработанная А. В. Карми-  
шным.

Во многих хозяйствах изготовляют своими силами ветродви-  
гатели системы проф. Е. М. Фатеева. Это деревянные ветряки,  
похожие по устройству на ветряную мельницу. Мощность таких  
усовершенствованных мельниц от 5 до 20 л. с. Они применяются  
для размола зерна и других работ.

Имеются опытные постройки больших ветровых электростан-  
ций. Например, недалеко от Целинограда разместилась первая  
в Советском Союзе ветряная электростанция, которая уже вступила  
в строй и дает значительное количество энергии. Сооружение  
этой электростанции — начало широкого использования в сель-  
ском хозяйстве степных районов Казахстана донной энергии  
ветра.



Рис. 92. Ветродвигатель Д-18.

Вид ветряных двигателей построен в Крыму, в степной части которого среднегодовая скорость ветра выше 5 м/сек.

Такое значение ветра как источника неисчислимого количества энергии голубого угля.

Ветер переносит на большие расстояния плоды и семена растений. Семена имеют самые разнообразные приспособления для того, чтобы ветер мог их рассеять на возможно большей площади. Ветер способствует не только размножению очень многих древесных пород и других растений, но и улучшению их породных качеств — перекрестному опылению.

Отрицательное действие ветра сказывается в том, что он усиливает испарение с поверхности почвы и растения, иссушает растения и усиливает транспирацию.

Ветер действует на растение также чисто механически: повреждает растение, надламывает ветви плодовых деревьев, вызывает полегание хлебов. Ветер выдувает почву и, что бывает особенно вредным, оголяет узел куцення: тогда растение гибнет или от высыхания, или от действия даже небольших морозов. Если ветер сопровождается высокой температурой и малой влажностью воздуха, то действие его оказывается особенно губительным. Если при этом скорость ветра достигает большой силы, то образуются «пыльные», или «черные», бури. Они наблюдаются на обширной территории Украины, Северного Кавказа, степной части Крыма, Молдавии, а также в средней полосе СССР — от Белоруссии до Приуралья, в Башкирской и Татарской АССР, на обширных степях Западной Сибири, в Бурятской АССР и в других местах. Во время черной бури в воздух поднимаются большие массы пыли, иногда весь поверхностный слой почвы вместе с семенами или даже с небольшими растениями, и переносятся на большие расстояния. Количество поднятой пыли настолько велико, что днем становится совершенно темно. Мельчайшая пыль через щели проникает в закрытые помещения, затрудняет дыхание людей и животных.

Поднятые частицы почвы отнесены ветром на большие расстояния; выпадающая размельченная почва засыпает посевы, кустарники, небольшие постройки, инвентарь и причиняет огромный ущерб народному хозяйству.

Почва, лишенная верхнего слоя, в значительной мере и на длительное время теряет свое плодородие. Выдувание и перенос почвы ветром носят название ветровой эрозии, или дефляции, почвы.

Вот как описывает черную бурю Ш. А. Адамов, один из участников «Особой экспедиции по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях России», организованной В. В. Докучаевым в 1892 г.

«Еще с утра начал дуть сильный, порывистый восточный ветер, временами поднимавший черные вихри дорожной пыли;

и в воздухе становилось сухо, вдали висела мгла, предвещающая резкую перемену. К полудню весь горизонт был покрыт мельчайшей пылью. Солнце, до того светившее ярко, подернулось как бы легкой тучею; виднелось только одно красное пятно. Несмотря на закрытые ставни, в хате невозможно было сидеть; кроме духоты и жары, приходилось еще глотать массу пыли, проникавшей сквозь тонкие щели дверей и окон. Дом дрожал под напором сильного ветра, со всех сторон неслись поломанные ветви курая «перекати-поле». В степи временами ничего не было видно за 10 саженей. Поднялась настоящая выюга, но вместо снега летела черноземная и меловая мельчайшая пыль, поднимаясь высоко в воздух. Все живое поириталось, пританцовало, как будто в ожидании чего-то еще более грозного. Этот злойный буряи оставил по себе весьма значительные наносы пыли чернозема и песка; поля местами оголились, а хлеба были сильно опалены».

В 1892 г. разрушительные черные бури наблюдались в степных районах Украины, Кубани, на Северном Кавказе, в Крыму, в Бессарабии. Близ Мариуполя почва была выдута вместе с посевами ярных и озимых культур на площадях около 200 тыс. га. В 1933 г. около Саратова черная буря местами засыпала сельскохозяйственные культуры слоем почвы до 30 см. В 1935 г. черная буря прошла по всему Запорожью. Днепропетровск был засыпан песком, железнодорожное движение было затруднено. В 1936 г. степной на Северном Кавказе пыльными бурями было уничтожено около 180 тыс. га посевов; свыше 50 тыс. га были пересеяны. Черные бури наблюдались и в последующие годы.

Усиленно дефляция почвы способствуют все факторы, которые размывают почву и высушивают ее. Распашка полей неизбежно приводит к переходу почвы из мелкокомковатой структуры в структуру пылевидную. В результате пыльной бури, как следствие ее, иногда на больших пространствах возникает сухая мгла, состоящая из мельчайшей лессовой пыли, которая вызывает нарушение всех основных физиологических процессов растения, нарушает работу устьичного аппарата и приводит растение к гибели.

## 2. Методы и приборы для измерения скорости и направления ветра

### Ручной анемометр

Ветер характеризуется скоростью и направлением. Ветер, дующий с севера, называется северным, дующий с юга — южным и т. д. Для измерения средней скорости ветра за определенный промежуток времени применяется ручной анемометр (рис. 93). Устройство его основано на том, что давление на

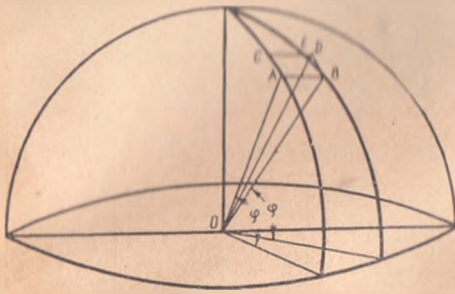


Рис. 97. Отклоняющее действие вращения Земли.

Предположим, что 1 кг воздуха находится в северном полушарии на какой-то широте  $\varphi$  в точке  $A$  (рис. 97) и относительно Земли неподвижен; эта масса воздуха участвует только во вращательном движении Земли вокруг своей оси. Пусть в единицу времени она проходит расстояние  $AB$ . Если бы воздушная масса находилась на экваторе, то в сутки она проходила бы по кругу

экватора 40 тыс. км. Чем севернее расположена воздушная масса, тем меньший круг (параллели) она описывает в течение суток, тем меньше ее линейная скорость движения.

Представим себе, что этот находящийся на широте  $\varphi$  1 кг воздуха получил толчок по меридиану в направлении полюса и в единицу времени должен пройти по инерции расстояние  $AC$ . Теперь масса участвует в двух движениях: во вращении Земли вокруг оси и в движении по инерции к северу. В результате она будет перемещаться по диагонали параллелограмма, построенного на этих скоростях, и через единицу времени окажется в точке  $D$ . Из рисунка ясно, что точка  $D$  смещена с меридиана вправо. Воздушная масса, начавшая движение по меридиану в направлении на север, на самом деле отклонилась от этого направления вправо, сместилась с меридиана на величину  $DE$ . Это смещение можно пояснить еще следующим образом: воздушная масса, переходя к северу, переносит с собой большую линейную скорость вращения вокруг оси и потому обгоняет точки меридиана, отклоняется вправо.

Если повторить все приведенные рассуждения для южного полушария, то можно убедиться, что воздушная масса в южном полушарии будет отклоняться влево.

Действующее на массу ускорение, вызывающее отклонение от первоначального направления, математически выражается следующей формулой:

$$f = 2\omega v \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

где  $f$  — действующее ускорение;

$\omega$  — угловая скорость вращения Земли, выраженная в радианах;

$v$  — скорость движения массы;

$\varphi$  — географическая широта места наблюдения.

Формула показывает, что если бы Земля не вращалась ( $\omega = 0$ ), то никакого отклонения не было бы ( $f = 0$ ); если масса относи-

тельно земной поверхности находится в состоянии покоя ( $v = 0$ ), то она также не испытывает никакого отклоняющего действия ( $f = 0$ ). Формула показывает также, что отклоняющее действие вращения Земли усиливается от экватора ( $\sin 0^\circ = 0$  и  $f = 0$ ) к полюсу ( $\sin 90^\circ = 1$ ;  $f$  принимает наибольшее возможное значение).

Представим себе теперь, что масса, непрерывно отклоняясь вправо, достигла направления параллели и движется по ней. Рассмотрим, будет ли масса, движущаяся по параллели, также отклоняться вправо и под влиянием каких сил будет происходить это отклонение.

Если масса имеет собственное движение по параллели, то оно может или совпадать с вращением Земли вокруг оси, или быть ему противоположным. В первом случае масса движется по кругу параллели скорее; центробежная сила, действующая на массу, увеличивается и действует в плоскости параллели. Если это увеличение центробежной силы разложить на две составляющие по вертикали в направлении радиуса Земли и по касательной к земной поверхности, то вторая из них и будет как раз тем ускорением, которое сдвигает движущуюся массу с параллели вправо. Действующее ускорение, как показывает теория, выражается той же формулой (1).

Если масса находится на широте  $\varphi$ , то она вместе с Землей участвует в ее суточном вращении. Если принять, что линейная скорость движения точки Земли на широте  $\varphi$  равна  $v_0$ , то вращающийся 1 кг воздуха испытывает при этом вращении центробежное ускорение  $f_1 = \frac{v_0^2}{r}$ , где  $r$  — радиус параллели.

Допустим, что 1 кг воздуха получил в направлении движения точки земли дополнительную скорость  $v$ , тогда скорость движения по кругу параллели будет равна  $v_0 + v$ . Теперь величина центробежного ускорения будет равна  $f_2 = \frac{(v_0 + v)^2}{r}$ .

Величина центробежного ускорения увеличилась на величину

$$f_2 - f_1 = \frac{(v_0 + v)^2}{r} - \frac{v_0^2}{r}$$

или

$$f_2 - f_1 = \frac{v_0^2 + 2v v_0 + v^2 - v_0^2}{r}$$

В этой формуле: 1) сокращаем  $v_0^2$  и  $-v_0^2$ ; 2) вычеркиваем  $v^2$  по малости по сравнению с членом  $2v v_0$ ; 3) принимаем во внимание, что  $\frac{v_0}{r} = \omega$  угловая скорость вращения Земли; получим  $f_2 - f_1 = 2\omega v$ .

На рисунке 98 это увеличение центробежного ускорения изображено вектором  $AB$ . Его можно разложить на две составляющих

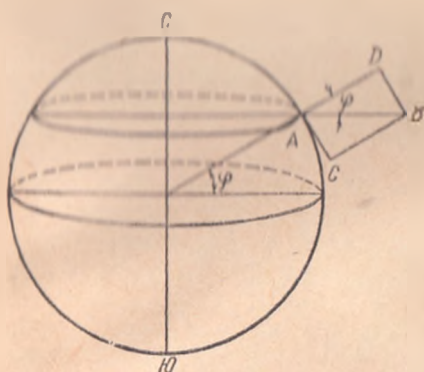


Рис. 98. Отклоняющее действие вращения Земли в случае движения по параллели.

AC и AD; ясно, что AC и есть ускорение, которое стремится сдвинуть вправо движущуюся по параллели массу, оно равно

$$f = (f_2 - f_1) \sin \varphi,$$

или

$$f = 2\omega v \sin \varphi.$$

Получилась прежняя формула.

Любое движение по земной поверхности можно разложить на две составляющие: по меридиану и параллели. Поэтому при любом направлении движения тело испытывает отклоняющее действие вращения Земли, причем действующее ускорение выражается формулой (1).

#### 4. Сила трения. Распределение скорости ветра в приземном слое воздуха

На движущуюся воздушную массу действует также сила трения, которая тормозит движение воздушной массы, уменьшает ее скорость.

Хорошей иллюстрацией действия силы трения может служить распределение скорости ветра в приземном слое воздуха.

Скорость ветра при подходе к земной поверхности резко уменьшается вследствие тормозящего действия шероховатой земной поверхности, растительного покрова.

Наблюдения, проведенные автором в полевых условиях около Москвы, показали следующее ослабление скорости ветра в слоях, более близких к земной поверхности (табл. 49).

Таблица 49

Распределение скорости ветра над травой (в %)

Уровень	Скорость ветра на уровне 200 см (в м/сек)		
	1	3	5
	распределение скорости ветра (в %)		
200 см	100	100	100
150 "	85	88	90
100 "	68	76	80
50 "	45	57	67
25 "	24	42	51
10 "	0	21	36



Таблица показывает, что при любых скоростях ветра воздушный поток при подходе к земной поверхности замедляется. При скорости ветра 1 м/сек и ниже у земной поверхности наблюдается штиль. Из таблицы видно также, что чем больше скорость ветра, тем меньше он тормозится земной поверхностью. Очевидно, величина торможения зависит от степени шероховатости. Среди растений у земной поверхности скорость ветра, как правило, близка к нулю. Если после уборки зерновых на поле остается стерня, то она лишь в малой степени замедляет скорость ветра; в этом случае с поверхности поля идет усиленное испарение почвенной влаги, запасы которой могут быть быстро израсходованы. Поэтому рекомендуется вслед за уборочной машиной немедленно проводить лушение, с тем чтобы взрыхлить поверхностный слой и закрыть влагу.

Чтобы выяснить степень влияния шероховатости на уменьшение скорости ветра, были проведены измерения скорости ветра над гладким снежным полем. Скорость ветра на высоте 200 см была принята за 100%; распределение скорости по высоте дано в таблице 50.

Таблица 50

Распределение скоростей ветра на различных уровнях над снегом (в %)

Уровень	Скорость ветра на уровне 200 см (в м/сек)				
	0,8	1,5	2,5	5,0	7,4
	распределение скорости ветра (в %)				
200 см	100	100	100	100	100
100 »	70	80	88	94	97
50 »	52	66	78	88	91
12 »	33	45	57	68	78
2 »	16	27	40	54	69
Общее уменьшение скорости ветра от 200 до 2 см (в %)	84	73	60	46	31

По этим данным построен график (рис. 99). Все кривые выходят из одной точки, так как на высоте 200 см все скорости принимаются за 100%. Наименьшая высота 2 см. Для наблюдений на этой высоте анемометр в специальном футляре опускали в снег, так что над снежным покровом оставалась только рамка и крестовина с полушариями. Управление включением и выключением прибора было выведено наружу.

На рисунке по вертикали нанесены высоты в сантиметрах от поверхности земли до 200 см; по горизонтали нанесена скорость ветра в процентах от скорости, которая наблюдалась на высоте 200 см и которая была принята за 100%. График показывает, что чем больше скорость ветра, тем круче вниз идет кривая распре-

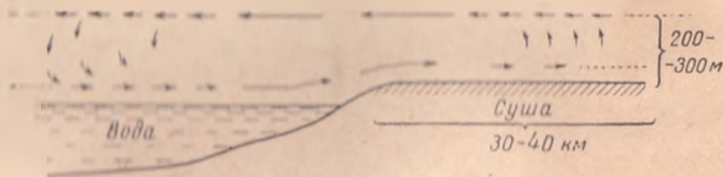


Рис. 100. Схема возникновения бриза.

Поэтому воздушные массы начнут передвигаться с суши на море; в результате установится н о ч н о й б р и з — такая же циркуляция, как и днем, однако в обратном направлении.

Бриз захватывает очень тонкий слой воздуха — всего 200—300 м по высоте. Если возникают мощные передвижения воздушных масс, предвещающие изменение погоды, то маломощная бризовая циркуляция прекращается. Поэтому наличие бриза — доказательство установившейся хорошей погоды; наоборот, ослабление и прекращение бризов предвещает изменение погоды.

Бризы могут возникать повсюду на границе двух поверхностей, имеющих разную теплоемкость и разную температуру. Например, бризы могут возникнуть на границе между полем, покрытым растительностью, и паровым полем. Они будут выражены тем сильнее, чем больше разница температур этих рядом расположенных поверхностей.

## 6. Горно-долинные ветры

В горных областях с восходом солнца начинают нагреваться склоны. Слой воздуха, прилегающий к склонам, нагревается сильнее, чем находящийся на том же уровне слой воздуха свободной атмосферы. В результате более плотные воздушные массы свободной атмосферы начинают перемещаться к горной поверхности и вытеснять подогретые воздушные массы по склону горы вверх. Возникает так называемый д о л и н н ы й в е т е р; он направлен по склону горы снизу вверх.

В ночные часы поверхность земли охлаждается излучением. Соприкасающийся с ней воздух, как более холодный, по склону горы скатывается вниз, возникает г о р н ы й в е т е р.

Горно-долинные ветры наблюдаются не только на склонах, ориентированных на солнце, но и на склонах, находящихся в тени; однако там они выражены слабее, так как разность температур почвы и окружающего воздуха свободной атмосферы выражена слабее, чем на солнечной стороне.

Бризы и горно-долинные ветры имеют суточную периодичность и представляют собой местную циркуляцию атмосферы.

## 7. Муссоны

В разных местах земной поверхности наблюдаются также периодические циркуляции с годовым периодом.

В летние месяцы материк Азии сильно нагревается, над ним устанавливается сравнительно низкое давление. Воздушные массы с Индийского и Тихого океанов, более холодные и более плотные, перемещаются с океана на материк; образуется летний муссон, который продолжается все лето.

В зимние месяцы над материком устанавливается область высокого давления, зимний антициклон. Холодные и плотные воздушные массы начинают двигаться в обратном направлении — с материка на более теплый океан; так возникает зимний муссон, который продолжается в течение зимнего периода.

Физическая причина возникновения муссонов та же, что и бризов. Однако масштаб явления и его влияние на климат местности совершенно другие.

В пределах СССР муссоны наблюдаются на Дальнем Востоке: на Владивостоке, на Сахалине, на берегу Охотского моря, на Камчатке по всему восточному побережью, вплоть до Чукотского полуострова.

Летние муссоны переносят с поверхности океана на материк большое количество водяного пара, облачность и осадки.

Зимние муссоны, дующие с континента на океан, несут холодные массы воздуха малой влажности. В зимний период облачность и относительная влажность резко уменьшаются; продолжительность солнечного сияния увеличивается, устанавливается сухая и ясная погода.

Муссон накладывает резкий отпечаток на климат местности. Он проникает в глубь материка на 1000 км и более.

Но вертикали муссон захватывает слой воздуха толщиной 3—5 км.

## 8. Пассаты. Общая циркуляция атмосферы

Солнечные лучи падают на экваториальные области под углом, близким к прямому, и сильно нагревают почву и прилегающие к ней слои воздуха. Вследствие этого с севера к экватору начинают подтекать более плотные массы воздуха. В экваториальной области образуются вертикальные токи воздуха, направленные вверх.

Подтекающие с севера воздушные массы вследствие отклоняющего действия вращения Земли имеют направление не с севера на юг, а с северо-востока на юго-запад. Такие воздушные течения господствуют от широты 30—35° до экватора; они носят название *п а с с а т ы*. Подобные же течения образуются и в южном полушарии. В дальнейшем, однако, будем рассматривать лишь течения северного полушария.

## ЗАСУХИ И СУХОВЕИ

## 1. Почвенная и атмосферная засуха

Засуха — это такой комплекс метеорологических элементов в почве и в атмосфере, в результате которого в растении нарушается его водный баланс; под влиянием недостатка влаги, усиленного испарения и действия высоких температур растение увядает и гибнет. Засухи обычно охватывают многие тысячи квадратных километров и продолжаются значительные промежутки времени (рис. 102).

Метеорологи многократно пытались дать засухе точное определение, указать численные значения отдельных метеорологических элементов или характер их хода, при которых засуха начинается или кончается.

Например, А. А. Каминский предложил определять засуху как бездождный период, в течение которого температура в 13 часов после значительного потепления равномерно повышается, относительная влажность в 13 часов после значительного падения оказывается не выше 40% и продолжает падать, абсолютная влажность колеблется в узких пределах и облачность мала.

Однако такие попытки не могут дать удовлетворительного результата, так как разные растения нуждаются в различных условиях окружающей среды.

Условия, которые для одной культуры будут губительной засухой, для другой могут быть приемлемыми. Поэтому правильно пишет А. М. Аллатьев, что «не может быть одного универсального показателя засухи для всех культурных растений».

В. Г. Ротмистров считает, что «Временный недостаток воды в почве, ощущаемый растением и задерживающий нормальный ход процессов в его жизни, и есть то, что называется засухой». Однако каждое растение наличный запас влаги в почве расходует в сроки, зависящие от его потребности; поэтому и засуха для различных растений не может наступить в один и тот же момент.

Были попытки определить наличие засухи по величине снижения урожая. Считали, что засуха снижает урожай не меньше чем на 20—25%. Однако оказывается, что нарушение простейших правил агротехники при отсутствии какой-либо засухи может привести к такому же и даже большему снижению урожая. Следовательно, величина снижения урожая не может быть показателем засухи, так как трудно установить, отчего оно произошло.

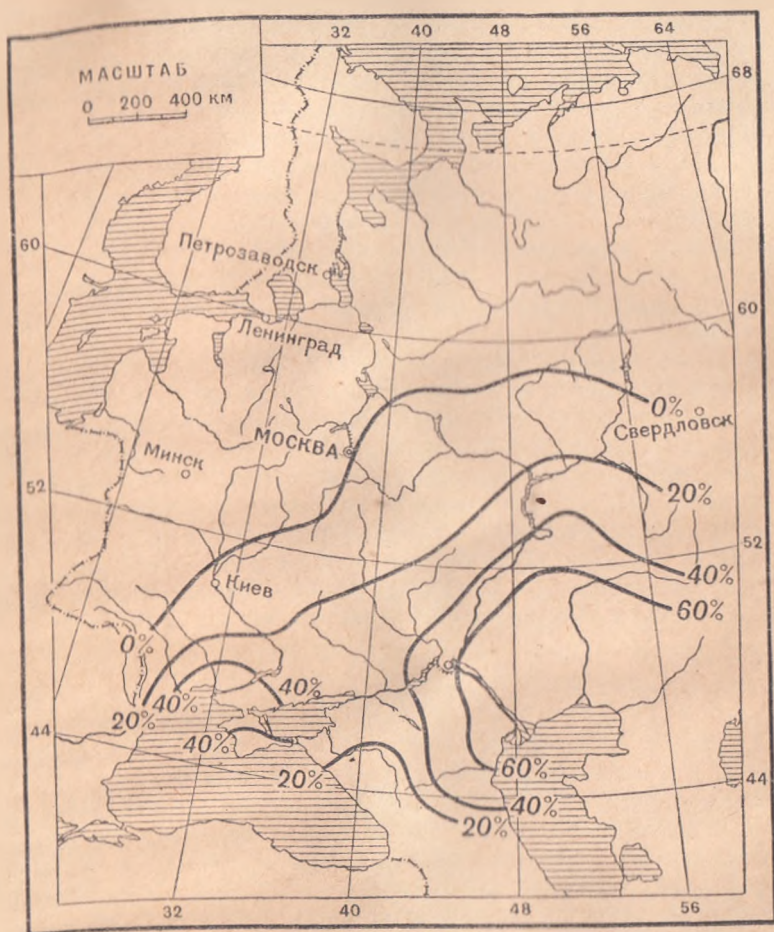


Рис. 102. Повторяемость засух.

В качестве показателя засухи предложено было считать величину так называемого гидротермического коэффициента. Но этот коэффициент — отношение разнородных величин (суммы осадков к сумме температур) — не имеет никакого физического смысла. Можно подобрать произвольное число таких коэффициентов, которые в «узком интервале» будут давать кажущуюся связь с урожаем, а на самом деле не будут иметь ни научного, ни практического значения.

Имеется много коэффициентов, которые не бы характеризуют засушливость периода, однако на самом деле представляют собой произвольно придуманную величину.

Нарушение водного баланса растений возникает или вследствие недостатка воды в почве — тогда наступает *почвенная засуха*, или вследствие чрезмерно быстрого испарения с поверхности растений — тогда наступает *атмосферная засуха*.

*Почвенная засуха* возникает в результате длительных периодов бездождья в теплый сезон; она усиливается, если осеннее и зимнее накопление осадков в почве было недостаточным. Почвенная и атмосферная засухи ведут к снижению или к гибели урожая на больших площадях. Иногда оба вида засухи (почвенная и атмосферная) действуют одновременно; тогда растение погибает быстро и вред, причиняемый засухой, может быть особенно значительным.

Для наблюдения за наступлением и ходом атмосферной и почвенной засухи необходимы систематические наблюдения над температурой и влажностью воздуха, над направлением ветра. Необходимы также систематические измерения запасов воды в почве. Эти измерения следует начать с ранней весны и продолжать в течение всего вегетационного периода. Такие измерения надо вести на всех полях, особенно имеющих различные углы наклона и ориентировки. При учете запасов воды в почве необходимо помнить, что растение может усвоить только «продуктивную» влагу, т. е. запас воды выше уровня влажности завядания.

## 2. Суховей

В периоды засух иногда наблюдаются ветры с высокой температурой и малой влажностью, так называемые *суховей*. Они, так же как и засухи, могут оказывать на растение губительное влияние. Однако воздействие это имеет другой характер. Если растение находится в спокойном воздухе, то испаряющаяся с него вода создает вокруг каждой испаряющей части растения воздушную оболочку, сильно обогащенную водяным паром и защищающую растение от дальнейшего усиленного испарения. Если же имеется ветер, то эта защитная оболочка вокруг растения все время сдувается и заменяется свежим сухим воздухом, усиливающим испарение. Поэтому К. А. Тимирязев писал: «Даже при скорости 3 метров в секунду, которую метеорологи обозначают выражением «слабого» ветра, испарение возрастало в 2—3 раза, иногда в 20 раз. Понятно, какое влияние должны оказать более сильные и сухие ветры, те роковые «суховей», которым приписывают выдающуюся роль в прошлогодней засухе»<sup>1</sup> (1891 г.).

Под действием суховей испарение усиливается настолько, что растение не успевает пополнять через корневую систему расход влаги и в конечном счете теряет тургор и увядает.

<sup>1</sup> К. А. Тимирязев. Избр. соч. в четырех томах. Сельхозгиз, М., т. II, стр. 102.

Это значит, что растение может гибнуть при наличии влаги в почве.

Обычная скорость суховея равна 3—5 м/сек; иногда она достигает скорости урагана. Тогда суховея превращается в черную бурю, поднимает огромные количества пыли, а также поверхностный слой почвы с семенами и мелкими растениями и уносит их на большие расстояния.

Различными авторами для числовой характеристики суховея были предложены следующие варианты:

1) температура 25—30°; относительная влажность меньше 20%; скорость ветра 3—5 м/сек;

2) температура воздуха больше 20°; относительная влажность меньше 30%;

3) относительная влажность днем и ночью меньше 50% и т. д.

Обосновать и проверить эти числа трудно. Поэтому количество таких характеристик очень велико.

Для сельского хозяйства важно установить условия, которые приводят к снижению или уничтожению урожая. Здесь можно было бы повторить то, что было сказано о засухах.

Снижение урожая или гибель его при суховеях зависит не только от метеорологических условий, но и от сорта и состояния культуры, от характера и сроков обработки почвы, ухода за культурами, количества и качества внесенных удобрений, течения погоды прошедшего сезона задолго от возникновения суховея, с осени предыдущего года, от количества выпавших осадков, времени их выпадения и от других условий.

Одни и те же метеорологические условия могут быть губительными для одной культуры и мало влиять на другую. Даже для одной и той же культуры действие данного комплекса метеорологических элементов в разные годы, а также в разные фазы развития может быть различным. Поэтому попытки характеризовать суховея постоянными числами или точными граничными значениями каких-либо метеорологических элементов с сельскохозяйственной точки зрения не могут быть успешны.

Однако это не исключает возможности и полезности принять какие-то числовые характеристики постепенного наступления засушливых и суховеяных периодов, их развития и ослабления. Таких характеристик должно быть несколько — по возрастающим или убывающим значениям отдельных элементов и их сочетаниям; они должны быть составлены по методам комплексной климатологии и включать главнейшие метеорологические факторы, влияющие на сельскохозяйственные культуры. Различные градации могут иметь условные сокращенные названия, подобные тем, которые ввел в науку Е. Е. Федоров: суховеяно-засушливая погода, умеренно-засушливая и др.

Числовые характеристики, составленные по методам комплексной климатологии, дадут возможность четко классифицировать

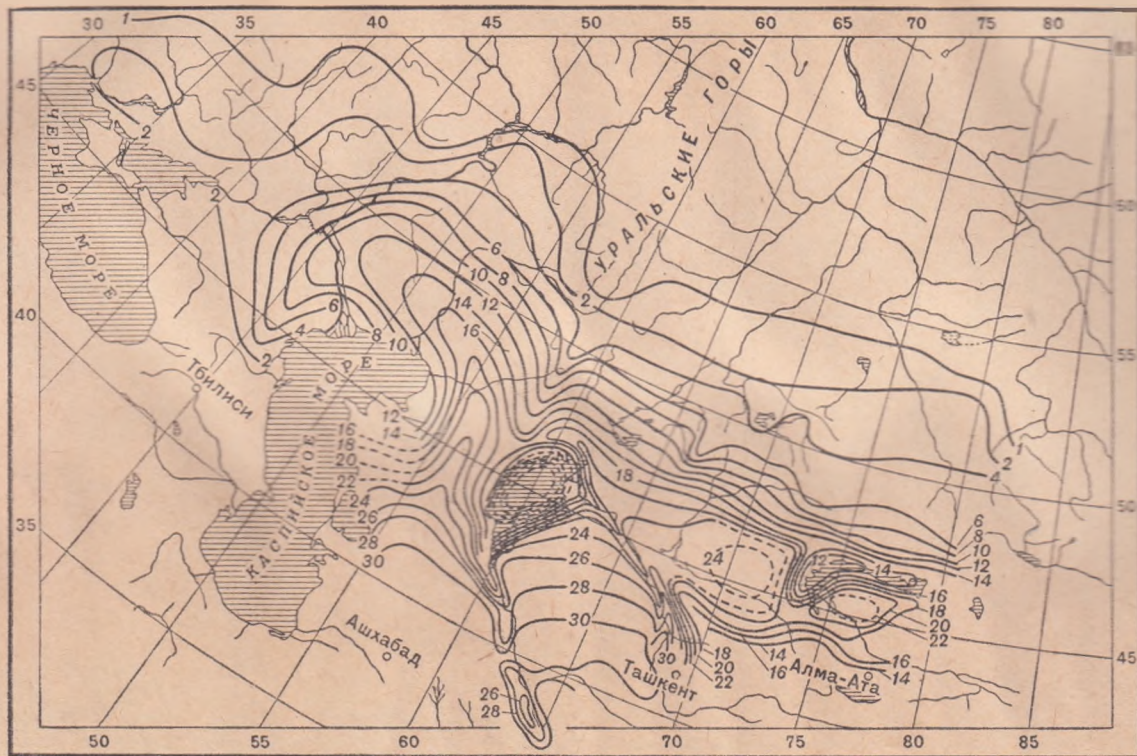


Рис. 103. Повторяемость сухоев.



различные варианты наблюдаемых засух, изучить условия их возникновения и последовательности развития в различных областях Советского Союза, методы их предсказания и др. При такой постановке вопроса не так важно, какие именно границы будут установлены для градаций и сколько их будет, однако для всего Союза они должны быть едиными.

Засухи и суховеи иногда захватывают огромные площади; в пределах Советского Союза они чаще всего бывают в южных и юго-восточных областях европейской территории СССР, в Заповольжье, Казахстане, Западной Сибири и в других местах.

На рисунке 103 дана повторяемость суховетно-засушливой погоды (в днях) в июле для территории СССР.

Засухи возникают, как это показал В. А. Дзержевский, при вторжении холодных масс воздуха с севера, при антициклональной погоде. Антициклон развивается на юго-востоке. Он характеризуется четко выраженным суточным ходом температуры и относительной влажности: днем очень высокая температура и малая влажность, ночью наоборот. В дневные часы растение находится в условиях сильного испарения; ночью в связи с понижением температуры и повышением относительной влажности испарение с растения ослабевает. Антициклон сопровождается бездождем. Воздушные массы вытекают из него по часовой стрелке и образуют суховеи. Если центр антициклона расположен севернее Каспийского моря, то Астрахань, Ростов оказываются под воздействием восточного суховетного потока. Суховеи нарушают четко выраженный суточный ход температуры и относительной влажности и круглосуточно поддерживает высокую температуру и малую влажность. Растения и днем и ночью находятся в условиях сильного испарения и нередко гибнут. Суховеи может продолжаться от нескольких часов до нескольких дней.

### 3. Борьба с засухами и суховеями

Впервые вопрос о борьбе с засухами был поставлен после катастрофической засухи 1891 г. В разработке этой проблемы приняли участие ведущие ученые того времени: П. А. Костычев, П. Ф. Баранов, А. А. Шниркин, В. В. Докучаев, А. А. Паманильский, К. А. Тимирязев. Они наметили основные пути борьбы с засухами и суховеями.

П. А. Костычев показал, что успешное развитие растений зависит не только от химических, но и от физических свойств почвы. По его мнению, причина неурожая заключается не столько в климате, сколько в свойствах той черноземной почвы, на которой повторяются неурожаи. П. А. Костычев показал также, что наиболее благоприятным следует считать такое состояние чернозема, когда пахотный слой состоит из мелких комочков. Комко-

вато строение пахотного слоя и в особенности верхнего слоя пашни наиболее благоприятно для сохранения в почве влаги и для усиления плодородия почвы вообще.

Хорошее развитие растений зависит от того, сколько воды просочится в землю и добдет до корневой системы растений. П. А. Костычев указывал некоторые приемы обработки почвы, создающие такое мелкокомковатое строение почвы.

Для накопления воды на полях П. А. Костычев и П. Ф. Баранов рекомендовали снегозадержание и считали, что накопление на полях снега — одно из важнейших средств борьбы с засухами. Для снегозадержания была рекомендована посадка лесных полос, а также выращивание кукурузы, подсолнечника и других высокостебельных растений, с тем чтобы стебли, остающиеся на поле, способствовали задержанию снега.

Большое значение имеет также зяблевая вспашка; земля, вспаханная с осени, к весне оказывается значительно более влажной, чем земля, оставленная на зиму в плотном состоянии.

Для сохранения накопленной воды в почве рекомендуется также борьба с сорняками, рыхление поверхностного слоя почвы, борьба с поверхностной коркой. Оставлять пашню с коркой на поверхности нельзя, потому что при каждом последующем дожде вода сквозь корку не проникает в пахотный слой: высыхание земли под коркой происходит быстрее.

Таким образом, П. А. Костычев, П. Ф. Баранов и А. А. Шпшкин предложили почти все коренные методы борьбы с засухами и способы накопления и сохранения влаги в почве.

В те же годы в Херсонской губернии работал выдающийся ученый агроном А. А. Измаильский. Он впервые широко осветил вопрос о происхождении наших степей, о современной стадии их развития, о причинах происхождения засухи и о мерах борьбы с ней. Измаильский показал, что среди причин, обусловивших обеднение наших степей водой, на первом месте стоит не изменение климата данной местности, а изменение характера поверхности почвы.

Почвы в зависимости от состояния их поверхности различно используют выпадающие дожди; при одних и тех же метеорологических условиях запасы воды в почве могут быть различными. Измаильский пришел к следующим выводам.

Влажность почвы зависит от вида и строения поверхности почвы едва ли не больше, чем от количества осадков.

При одном и том же количестве атмосферных осадков, но при различном культурном состоянии почв одна из них ежегодно будет обогащаться влагой, а другая, напротив, все более и более будет высыхать.

Увеличение запасов влаги в почве зависит главным образом от условий а) затрудняющих сток атмосферной воды с поверхности почвы; б) способствующих пропитковению этой влаги

внутри почвы; в) защищающих поверхность почвы от высыхания.

При благоприятном сочетании указанных условий верхний уровень грунтовых вод должен значительно подниматься над уровнем водоупорного слоя. Чем благоприятнее эти условия и чем продолжительнее они действуют, тем ближе уровень грунтовых вод будет от поверхности почвы.

В этих положениях охарактеризованы причины высыхания степей и указаны основные пути для коренной перестройки земледелия и создания условий для получения высоких и устойчивых урожаев при существующем количестве атмосферных осадков.

Атмосферные осадки, в каком бы виде они ни выпадали, совершенно по-прежнему влияли на степь, покрытую безбрежным морем ковылей, непроходимыми зарослями бобовника, ракичника, березы, степной вишни.

Степь, лишенная этого покрова, теряет воду вследствие: а) стоки воды, которая не успевает впитываться в почву; б) испарения с поверхности почвы и растений; в) просачивания влаги в более глубокие горизонты.

Чтобы создать устойчивое и высокопроизводительное сельское хозяйство засушливых степей, не зависящее от засух и случайностей погоды, А. А. Измаильский предлагает снегозадержание, а также посевы четырехметровых полос кукурузы через каждые 20 м поля, с тем чтобы озимые, посеянные между полосами кукурузы, расположенными поперек господствующего направления ветров, в течение зимы были покрыты высоким ровным слоем снега и давали высокий урожай.

А. А. Измаильский рекомендовал осеннюю вспашку полей поперек склона или проведение борозд плугом. Он установил также, что большое значение в накоплении влаги имеет борьба с сорняками, а также содержание поверхности поля в рыхлом состоянии.

В 90-х годах прошлого столетия работал также выдающийся ученый В. В. Докучаев.

В 1892 г. по инициативе В. В. Докучаева и под его руководством была организована специальная экспедиция, в задачу которой входило показать возможность получения высоких и устойчивых урожаев в засушливых районах. Для этого были организованы три опытных участка: Велико-Анадольский, расположенный между Диспром и Доном, Старобельский, расположенный между Доном и Доном, и Каменнотенный, расположенный на водоразделе между тремя притоками Дона: Осередью, Битюгом и Хопром.

Особенно большой известностью пользуется последний, преобразованный в Научно-исследовательский институт земледелия центрально-черноземной полосы имени проф. В. В. Докучаева.

Этот участок покрыт сетью лесных полос различных конструкций. Так на практике была доказана возможность лесоразведения в степи. Посевы в межполосных площадях дают высокие урожаи зерновых и других культур.

Влажность почвы в лесу и в межполосных участках выше, чем в открытой степи.

Под защитой «живых изгородей» и лесных посадок даже в засушливые годы получают достаточно высокие урожаи.

В эти же годы К. А. Тимирязев написал известную работу «Борьба растения с засухой»; в ней показано, что огромное испарение с листовой поверхности растений есть регулятор температуры, умеряющий действие высоких температур. Растение приспосабливается к различным условиям: например, чтобы уменьшилось испарение с его поверхности, например, изменяется наклон листьев, они скручиваются в трубку, сбрасываются, закрываются устьица, у некоторых растений листья имеют опушение или покрыты волосками, развиваются глубоко идущие корни.

В качестве мер борьбы с засухой Тимирязев рекомендует искусственный отбор, чтобы усилить засухоустойчивые качества растения: удлинить корневую систему, которая обеспечит более обильную подачу растению воды, увеличить на поверхности растений толщину кожицы, опушение и восковой налет, которые препятствуют испарению, уменьшить число устьиц, усилить механизм свертывания или периодического складывания листовых пластин, усилить способность листьев принимать выгодное положение по отношению к горизонту. Это показывает, что рекомендуемый искусственный отбор — не обычный отбор, при помощи которого стремятся повысить урожайность; это стремление создать растению, способное противостоять засухе и бороться с ней.

К. А. Тимирязев отмечает также, что эффективные приемы борьбы с засухой — борьба с сорняками, применение удобрений, защита посевов более высокими растениями в форме живых изгородей и лесных опушек, замедляющих движение ветра и тем значительно умеряющих испарение.

Кроме этих приемов борьбы с засухой, указаны еще и другие чисто физические приемы: сохранение осенних и весенних вод, борьба с бесполезным стоком, рыхление, глубокая вспашка и превращение оврагов в водохранилища. Особенно подчеркивается глубокая вспашка: она важна не только как средство увеличения запаса воды, но и как средство, способствующее развитию более глубоко идущих корней.

Таким образом, выдающиеся ученые Костычев, Измаильский, Докучаев, Тимирязев и другие еще в 70—90-х годах прошлого столетия указали причины возникновения засух и методы борьбы с ними. Однако в условиях раздробленных мелких хозяйств при отсутствии какой-либо механизации и государственной помощи, при отсутствии широко поставленной сети научно-исследователь-

ских учреждений провести в жизнь эти мероприятия было невозможно.

В СССР посадка полезащитных насаждений, строительство прудов и водоемов и ряд других мероприятий объявлены государственно важными, осуществляемыми по определенному плану. Созданы огромные водохранилища на Волге, Днепре, Дону, Аму-Дарье, проводятся каналы, оросительные системы. На огромных площадях и около водных магистралей сажают лесные полосы.

Рассмотрим более подробно посадку лесных полос как один из основных приемов борьбы с засухой.

#### 4. Полезащитная полоса

Полезащитная полоса действует так же, как щит, поставленный на подо для снегозадержания. Около лесной полосы с наветренной и заветренной стороны образуются объемы воздуха с турбулентным движением. С заветренной стороны протяженность этого слоя больше, чем с наветренной. Снежинка или мелкая пылинка, попадающая в такой турбулентный слой, получает беспорядочные удары со всех сторон и здесь же падает на землю. В результате вдоль полосы по обе стороны образуются вытянутые вали снега или мелкого песка, пыли.

Наибольшее количество снега в лесной полосе собирается в том случае, если направление ветра было перпендикулярным направлению полосы.

Если же направление лесной полосы совпадает с направлением ветра, то полоса не «работает», не собирает снега и по существу бесполезна.

Поэтому очень важен выбор надлежащего направления посадки лесной полосы, тем более что впоследствии изменить направление посаженной полосы оказывается невозможным.

Для правильного выбора направлений посадки лесных полос необходимо детально изучить наблюдения над направлением и скоростью ветра ближайших метеорологических станций, расположенных с разных сторон вокруг места посадки.

Вычерченные розы ветров ясно покажут наилучшее направление посадки. Необходимо, однако, рассмотреть и местные условия, местный рельеф, который может существенно изменить господствующее направление ветров.

Может оказаться, что роза ветров не показывает преобладания какого-либо ветра. В этих случаях лесные полосы следует располагать обязательно по двум перпендикулярным направлениям в виде клеток квадратной или прямоугольной формы. Тогда при любом направлении ветра та или другая сторона клетки будет собирать снег (поднятую почву, пыль, песок).

Лесная полоса не только способствует снегонакоплению, но и более или менее равномерному распределению его по всему межполосному пространству. Для этого необходимо придать полосе определенную структуру и учесть расстояние, на которое распространяется ее действие.

Структура лесной полосы может быть сплошная, непродуваемая. В этом случае издали полоса представляет собой сплошную зеленую стену без просветов. Полоса может быть также «сплошная ажурная», продуваемая; издали она имеет вид зеленого пасаждения с просветами, допускающими беспрепятственный проход потоков воздуха. Ажурной может быть только нижняя часть лесной полосы (без подлеска), состоящая из стволов деревьев и продуваемая ветром.

Непродуваемая полоса собирает снег в виде двух валов, расположенных по обе стороны вдоль полосы. Такой характер накопления снега затрудняет обработку почвы весной. Может оказаться, что межполосное пространство уже готово к обработке и севу, в то же время вдоль полосы еще лежит снег. Приходится или ждать, но при этом теряется почвенная влага, или обрабатывать участок по частям. И то и другое неприемлемо. Сплошная ажурная полоса пропускает значительное количество сквозных потоков ветра, не способствующих снегозадержанию. Воздушный поток замедляется недостаточно.

Лесная полоса в верхней части должна быть сплошной, в нижней части — продуваемой, тогда каждая снежинка, попавшая в турбулентный слой, падает вниз; когда же она достигает нижней продуваемой части полосы, воздушный поток, хотя и ослабленный, подхватывает ее и относит на межполосное пространство. Отсюда вытекает важное правило: *подлеска среди отдельных рядов полосы оставлять нельзя*. В нижней части полосы необходима вырубка сучьев. *Структура полосы, сверху непродуваемая, снизу продуваемая, обеспечивает задержание снега и более равномерное распределение его по межполосному пространству.*

Все сказанное относится не только к снегу, но и к поднятой во время черной бури почве. Непродуваемая полоса во время черной бури может быть занесена полностью снизу доверху.

На рисунке 104 показан занос сплошной непродуваемой полосы из абрикосовых деревьев (колхоз имени Калинина, Краснодарский край), образовавшийся в результате черной бури.

В результате десятидневной черной бури полоса фруктовых деревьев занесена до такой степени, что по внешнему виду нельзя предположить, что в насыпи погребено большое количество плодовых деревьев.

На рисунке 105 показано действие во время той же черной бури лесной полосы, вверху непродуваемой, внизу продуваемой (колхоз имени III Интернационала Успенского района Краснодарского края). Поднятая суховеем почва равномерно раскинута



Рис. 104. Запас сплошной непродуваемой полосы во время черной бури.



Рис. 105. Продуваемая полоса после черной бури.

по всему местному пространству. Рисунки свидетельствуют об исключительной важности структуры лесной полосы и ее продуваемости в нижней части, очевидно, сплошные непродуваемые стены полосы варьировать нельзя.

Сплошные непродуваемые лесополосы допустимы только в том случае, если основная задача их сводится к задержанию водных потоков дождя или талых вод и ослаблению эрозии почвы. Они допустимы также, если сажаются по склонам долины для защиты от стекающих холодных масс воздуха и заморозков.

Следует отметить, что в борьбе с эрозией почвы существенную роль может сыграть обработка поверхности почвы полимерами, скрепляющими пески.

Проф. А. В. Альбенский (Всесоюзный научно-исследовательский институт агролесомелиорации) указывает, что очень эффективен полимер полиакриламид. Порошковидный полиакриламид вносили на песчаные участки вразброс по снегу в начале или в конце зимы. Во время таяния снега порошок растворялся, взаимодействовал с частицами песка и скреплял их, формируя довольно прочную корку толщиной 4—10 см. Эта корка сохраняется в течение полутора-двух лет. Она хорошо впитывает и пропускает в глубь почвы осадки, но препятствует их испарению. Поэтому на делянках, обработанных полиакриламидом, влажность почвы в течение вегетационного периода была выше, чем на необработанных.

После дождей корка размягчается, а в сухие периоды затвердевает. Полиакриламид закрепляет подвижные пески, предотвращает пыльные бури. Необходимо дальнейшее исследование этого метода борьбы с эрозией почвы.

В борьбе с эрозией большое значение имеет применение противозерозионных агротехнических мероприятий (занятые пары, безотвальная вспашка, прикатывание тяжелыми, кольчатыми катками легких почв, стерневые кулисы).

## 5. Расстояние, на которое действует лесная полоса

Расстояние, на которое действует полоса, тем больше, чем выше полоса и чем больше скорость ветра. Это расстояние принято выражать числом высот полосы. По исследованиям В. А. Бодрова, скорость ветра полностью восстанавливается примерно на расстоянии от 60 до 100 высот полосы. Однако эффективное, достаточно сильное действие полосы распространяется на 20—30 высот до полосы и на 40—50 высот за полосой.

Расстояние, на которое распространяется действие лесной полосы, в большой степени зависит от угла между направлением ветра и полосы.

Наибольшая дальность действия будет в случае, если ветер дует под углом 80—90° к направлению полосы. Если же этот угол



уменьшается до  $45-25^\circ$ , эффективность полосы снижается более чем в два раза. Если направления полосы и ветра совпадают, то полоса практически не действует.

Уменьшение угла между направлением ветра и полосой равносильно уменьшению ширины полосы и уменьшению ее продуваемости. На единицу поверхности полосы приходится теперь воздушный поток меньшего сечения. Ветер, дующий под острым углом, частично скользит вдоль полосы, обтекает ее и с одной стороны увеличивает скорость; меньшая часть воздушного потока проникает на другую сторону полосы; эффективность ее действия значительно снижается.

## 6. Влияние лесной полосы на распределение температуры и влажности воздуха, на испарение

Турбулентное перемешивание, которое возникает около полосы, способствует теплообмену нижних припочвенных слоев воздуха с массами, расположенными на более высоких уровнях. Поэтому в дневные часы, когда земная поверхность имеет высокую температуру, турбулентный теплообмен повышает температуру всего столба воздуха около полосы. Ночью тот же турбулентный обмен способствует переносу в более высокие слои воздуха воздушных масс, охладившихся у земной поверхности, и таким путем способствует охлаждению всего столба воздуха. В обоих случаях изменения температуры происходят в пределах  $1^\circ$ .

В. А. Бодров указывает, что если полоса непродуваема по всей высоте, то температура вблизи нее по сравнению с температурой воздуха окружающих мест может быть выше даже на  $6^\circ$ . Значительное уменьшение скорости ветра с наветренной и подветренной стороны полосы, как следствие, влечет за собой ослабление испарения с поверхности почвы.

Лесные полосы, влияя на температуру воздуха и величину испарения, тем самым влияют и на влажность воздуха, способствуют повышению в межполосном пространстве абсолютной и относительной влажности.

Существенное влияние лесные полосы оказывают на урожайность сельскохозяйственных культур. Прибавка урожая зерновых культур под защитой лесных полос достигает 5—7 ц с 1 га.

## 7. Биологические методы борьбы с засухами

Выше было указано, что К. А. Тимирязев для борьбы с засухами и суховеями предлагал путем отбора усиливать в растениях те качества, которые увеличивают его сопротивление засухам.

И. В. Мичурин решил более общую задачу: он создал науку о переделке растений. Пользуясь своими методами, Мичурин вывел ряд засухоустойчивых сортов плодовых деревьев, у которых развивается корневая система по вертикальному направлению до значительной глубины. Эти важные работы продолжаются и в настоящее время многочисленными учениками и последователями Мичурина.

Совместными усилиями биологов, а также метеорологов и гидромелиораторов вредное влияние засухи на растение будет существенно ослаблено. Активное участие в этой борьбе с засухой будут принимать те самые силы, которые ее создают: ветер и солнечная энергия; выжженные солнцем пустыни превратятся в цветущий край.

## ЗАМОРОЗКИ И БОРЬБА С НИМИ

### 1. Чувствительность растения к заморозкам

Общезвестен вред весенних и осенних заморозков. В одну ночь на больших площадях может быть погублен урожай плодовых деревьев, различных овощных растений, хлопка, винограда и других культур.

Чувствительность культуры к пониженным и отрицательным температурам зависит от ряда условий, например от степени понижения температуры, от длительности ее воздействия на растение. Небольшие понижения температуры, но длительные могут оказаться более губительными, чем значительные понижения температуры, но кратковременные. Чувствительность растения к низким и отрицательным температурам в большой степени зависит от вида и сорта растения, от его состояния в момент наступления отрицательных температур, от фазы развития, от предыдущего хода погоды и связанной с этим закалки растения и от других условий.

Способность растения переносить отрицательные и пониженные температуры может быть охарактеризована известными пределами, в которых та или иная температура в зависимости от других составляющих комплекса может оказаться губительной.

Некоторые растения повреждаются и гибнут не только при отрицательных температурах, но также при достаточно низких положительных температурах.

Поэтому в дальнейшем изложении для краткости под словом заморозки будем подразумевать не только температуры ниже нуля, но и близкие к нулю положительные температуры, которые оказались губительными для данной культуры.

Для успешной борьбы с заморозками необходимо рассмотреть условия их возникновения, изучить, какие факторы содействуют их развитию или препятствуют ему и приводят к прекращению. Это даст возможность наметить правильные приемы борьбы с ними.

### 2. Различные виды заморозков

Заморозки могут возникнуть вследствие ночного излучения тепла земной поверхностью, охлаждения ее и прилегающего к ней слоя воздуха. Такие заморозки называются **радиационными**.

Заморозки могут возникнуть также вследствие притока с севера или северо-востока холодных масс воздуха. В этом случае они носят название *адвективных*.

При этом типе заморозков низкие температуры наблюдаются не только в приземном слое воздуха, но и до больших высот, по всей массе притекающего воздуха.

Холодные массы воздуха, продвигаясь на юг, подогреваются, становятся все более относительно сухими, сопровождаются безоблачной погодой, которая способствует усилению излучения тепла земной поверхностью; в дополнение к понижению температуры, создаваемому притоком холодных масс воздуха, происходит дополнительное охлаждение приземного слоя воздуха усиленным почным излучением.

Такой вид заморозков называется *адвективно-радиационным*. Название показывает, что заморозок образовался в результате двух физических процессов: притока холодных масс воздуха и вызванного им усиленного почного излучения.

Этот тип заморозков наиболее часто повторяется, сопровождается наиболее низкими температурами и потому наиболее опасен для сельского хозяйства.

Наконец, значительные понижения температуры, а также заморозки иногда наблюдаются в долинах и замкнутых котловинах. Они возникают потому, что воздушные массы, расположенные на возвышенных местах и на склонах котловины, сильно охлаждаются ночным излучением земной поверхности и, как более холодные и плотные, стекают вниз. В замкнутой котловине образуется озеро холодного воздуха. Так как на склонах и возвышенностях воздух может быть переменан ветром, то заморозка здесь может и не быть, в то время как в долинах и замкнутых котловинах заморозок возникает.

О такой возможности возникновения заморозка, связанного с рельефом, следует помнить при распределении культур по полям.

### 3. Радиационные заморозки

Радиационные заморозки возникают вследствие охлаждения земной поверхности излучением. Поэтому возникновению и усилению заморозка содействуют все факторы, усиливающие излучение.

К ним относится в первую очередь безоблачное небо ночью и все типы погоды, которые сопровождаются безоблачными ночами. Как только появляются низкие формы облаков, опасность возникновения заморозка уменьшается, существующий заморозок ослабевает и прекращается.

Важное условие возникновения и существования заморозка — безветрие, штиль. Во время заморозка охлаждается только при-

земный слой воздуха небольшой толщины. Над ним располагаются слои воздуха с более высокой температурой. Достаточно небольшого ветра, чтобы приземные более холодные слои перемешались с более теплыми слоями и заморозок, а также возможность его возникновения были ликвидированы.

Возникновение заморозка в большой степени зависит от влажности воздуха. Если при понижении температуры воздух окажется насыщенным водяным паром, т. е. если будет достигнута «точка росы», то дальнейшее падение температуры будет резко замедлено. Дело в том, что при понижении температуры воздуха, насыщенного водяным паром, начинается конденсация водяных паров; при этом выделяется скрытая теплота парообразования. Поэтому при достижении точки росы опасность возникновения заморозка резко снижается.

Точка росы показывает ту температуру, до которой ночное падение температуры может доходить беспрепятственно.

Из всего сказанного вытекает, что для возникновения радиационного заморозка необходимыми условиями являются: а) безоблачное небо ночью и сильное излучение; б) отсутствие ветра, затенение, при котором охлажденные приземные слои не перемешиваются с расположенными выше более теплыми слоями воздуха; в) малая влажность воздуха, точка росы ниже 0°.

Очевидно, для защиты от радиационных заморозков, борьбы с ними необходимо ослабить ночное излучение, создать в приземном слое воздуха воздухообмен с более высокими слоями атмосферы, повысить точку росы.

#### **4. Адвективные и адвективно-радиационные заморозки**

Они образуются от притока холодных воздушных масс с севера или северо-востока. Это мощное вторжение, захватывающее значительный слой атмосферы до большой высоты. При этом давление воздуха непрерывно растет, облачность постепенно уменьшается, температура падает; ветер имеет значительную скорость и к вечеру не ослабевает; направление ветра сохраняется постоянным с севера или с северо-востока.

Воздух становится все более прозрачным; видимость удаленных предметов увеличивается. Заря окрашивается в золотисто-желтые тона, небесный свод на большом расстоянии от горизонта вверх приобретает постепенно усиливающийся зеленоватый оттенок. Если по одному из указанных выше признаков можно ожидать вторжения холодного воздуха, то следует сейчас же обратить внимание, не наблюдаются ли и другие признаки, подтверждающие эту возможность наступления холодных воздушных масс и возникновения заморозка.

О предстоящем вторжении холодных масс воздуха и возможности адвективного заморозка лучше всего можно судить по синоптическим картам погоды (глава X).

На этих картах наносится расположение воздушных масс и границ между ними, так называемых фронтов. Наблюдая по картам за перемещением воздушных масс изо дня в день, можно с большой вероятностью предсказывать наступление адвективных заморозков. Однако, как было указано выше, безоблачная погода немедленно вызывает успешное получение земли, и потому можно сказать, что в чистом виде адвективные заморозки редко наблюдаются. Они усиливаются излучением и переходят в адвективно-радиационные. Следовательно, для правильного суждения о возможности возникновения заморозка нужно наблюдать облачность, скорость и направление ветра, видимость, цвет зари, а также определять температуру, точку росы, давление воздуха.

## 5. Предсказание заморозков

Для успешной борьбы с заморозками важное значение имеет своевременное предсказание их хотя бы за несколько часов. Это дает возможность своевременно собрать обслуживающий персонал и ввести в действие защитные приспособления.

Так как заморозок может нанести большой урон сельскому хозяйству, то следует стремиться к тому, чтобы предсказания заморозков были *безошибочными*.

Если тот или иной метод предсказания не соответствует этому условию, он не может быть основным приемом работы и его следует рассматривать лишь как метод ориентировочный и дополнительный.

Авторы различных методов предсказания заморозков принимают обычно в расчет ту или иную группу факторов, которая кажется им наиболее важной, и на них строят свои методы.

Имеются способы предсказания заморозков на основании только одного какого-либо фактора. Они могут служить иллюстрацией неправильного выделения из сложного комплекса воздействующих факторов одного, действие которого автору приема кажется решающим.

Чем больше факторов, способствующих возникновению заморозка, принимается в расчет, тем более точными будут предсказания.

Однако при увеличении числа факторов, учитываемых при составлении предсказания, возникает вторая трудность. Необходимо научно обосновать степень взаимного влияния каждого отдельного фактора, действующего одновременно с другими, но таких исследований пока нет.

Некоторые авторы пытаются охватить явление во всей его сложности, вводят значительное число метеорологических и актиметрических наблюдений, но при этом предсказание заморозков настолько усложняется, что весь метод теряет практическую ценность.

Рассмотрим наиболее распространенные приемы предсказания заморозков.

1 - и с п о с о б. Возможность наступления заморозка определяется по графику (рис. 106). По вертикали нанесены температуры воздуха, отсчитанные в 21 час. По горизонтали нанесены разности температур в 13 часов и в 21 час. На рисунке нанесена серия наклонных прямых; на каждой из них поставлены числа, показывающие процент вероятности возникновения заморозков. Чтобы уяснить пользование графиком, рассмотрим частный пример.

Пусть в 13 часов наблюдалась температура  $13^{\circ}$ , а в 21 час  $7^{\circ}$ . Разность температур в 13 часов и в 21 час будет равна  $13^{\circ} - 7^{\circ} = 6^{\circ}$ .

На левой вертикальной шкале находим температуру  $7^{\circ}$  (в 21 час) и через эту точку проводим горизонтальную линию. На нижней горизонтальной шкале находим температуру  $6^{\circ}$  (разность температур в 13 часов и в 21 час) и через эту точку проводим вертикальную линию. Точка пересечения проведенных линий находится на наклонной линии, на конце которой написано 60%; это число показывает вероятность возникновения заморозка.

Приведенный способ предсказания заморозков основан на учете только одного фактора — температуры воздуха; предполагается, что падение ее от 13 часов до восхода солнца одинаково неизменно. Положение температуры и его характер зависят от многих условий, только в редких случаях оно может быть неизменным.

2 - и с п о с о б. Предсказание заморозков можно составлять по значению абсолютной влажности. Для этого служит график, данный на рисунке 107. По горизонтали нанесены значения абсолютной влажности в миллиметрах, по вертикали — проценты вероятности заморозка.

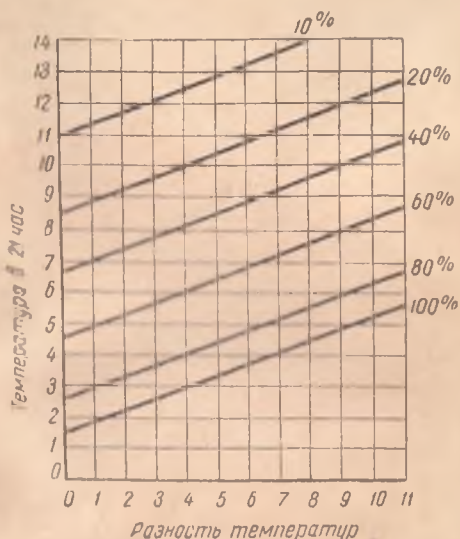


Рис. 106. Предсказание заморозков по ходу температуры.

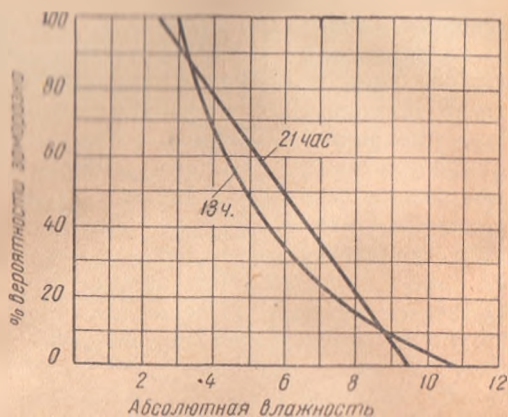


Рис. 107. Предсказание заморозков по значениям абсолютной влажности.

Чтобы определить вероятность возникновения заморозка, измеряют в 13 часов абсолютную влажность. В точке графика, соответствующей полученной величине абсолютной влажности, по горизонтальной оси восстанавливают перпендикуляр; от пересечения его с кривой проводят горизонтальную линию. В точке пересечения горизонтали с вертикальной осью отсчитывают процент вероятности возникновения заморозка. В 21 час наблюдение повторяют. Теперь перпендикуляр ведут до пересечения с прямой. В остальном метод определения вероятности наступления заморозка остается прежним.

Предсказывать заморозки по одной абсолютной влажности так же неправильно, как и по одной температуре.

Исходя из бесспорного факта, что заморозок есть результат ряда сложных процессов, можно утверждать, что ни один из перечисленных способов, взятый в отдельности, не может дать удовлетворительных результатов.

Различные авторы пытались увеличить число учитываемых факторов, составить формулы, в которые входили бы результаты многих наблюдений и позволили бы вычислить ожидаемую ночью минимальную температуру.

Приведем образец таких формул.

Для южных областей Советского Союза была предложена следующая формула:

$$t_{\text{мин}} = t_{\text{смоч. в 13 час.}} (1 + C) - t_{\text{темн. в 13 час.}} \times (C + A).$$

В этой формуле  $t_{\text{мин}}$  — ожидаемая ближайшей ночью минимальная температура;  $t_{\text{смоч. в 13 час.}}$  и  $t_{\text{темн. в 13 час.}}$  — температуры в 13 часов по сухому и смоченному термометру; постоянная  $C$  определяется по таблице 53, составленной на основании прежних



наблюдений для данного района (в данном случае для южных областей СССР).

Таблица 53

Таблица для определения постоянной  $C$

Относительная влажность воздуха (в %)	50	60	70	80	90	100
Значение $C$	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0

Значение  $A$  определяется по результатам наблюдения облачности в 21 час. Вся поверхность небесного свода принимается за единицу. Если в 21 час «ясно», т. е. облака занимают не более 0,3 небесного свода, то  $A = -2^\circ$ ; если облаками закрыто 0,4–0,7 небесного свода — «средняя облачность», то  $A = 0^\circ$ ; наконец, если облаками покрыто больше 0,7 небесного свода — «облачно», то  $A = +2^\circ$ .

Рассмотрим числовой пример. Допустим, что в 13 часов сухой термометр показывает  $7^\circ,0$ , смоченный  $3^\circ,6$ . Пользуясь психрометрическими таблицами, находим, что относительная влажность равна 52%; из таблицы 53 определяем, что  $C = 1,2$ ; в 21 час было «ясно», т. е.  $A = -2^\circ$ .

Подставляя эти значения в формулу, получим:

$$t_{\text{мин}} = 3,6(1 + 1,2) - 7^\circ,0 \times 1,2 - 2^\circ = -2^\circ,5,$$

т. е. наблюдения и расчет показывают, что ближайшей ночью можно ожидать минимальную температуру  $-2^\circ,5$ . Значения  $C$  рассчитываются для каждой местности в отдельности, по данным прежних наблюдений.

В этом способе предсказания заморозков учитываются температура и влажность воздуха, а также облачность. Но не принимается в расчет, например, ветер, который может играть существенную роль в наступлении заморозка. Подбор действующих факторов и вид формулы недостаточно обоснованы. Построение формулы по существу произвольное, и нет никаких доказательств, что влияние, например, облачности может быть учтено столь элементарным способом при помощи одного слагаемого, имеющего только три значения.

В формуле нет ни одного члена, который отражал бы динамику, процесс, происходящий в атмосфере, ход какого-либо элемента. Все наблюдения относятся к одному определенному моменту времени.

Поэтому приведенная формула неизбежно будет давать значительный процент ошибочных предсказаний.

Имеются попытки охватить теоретически все главнейшие процессы, приводящие к заморозку, в частности радиационные про-

606 ккал; при 10° — 599 ккал; при 20° — 593 ккал; при 30° — 586 ккал. Скрытая теплота парообразования начинает выделяться тогда, когда кривая хода температуры воздуха достигнет кривой точки росы. Рассмотрение хода обеих кривых покажет, можно ли ожидать конденсации. Проведенные на графике прямые восхода солнца, а также опасной температуры позволяют определить, может ли при данном ходе температуры возникнуть заморозок. На рисунке взята условно опасная температура — 1°; поэтому горизонтальная линия, соответствующая температуре — 1°, проведена пунктиром. Предположено, что восход солнца в 6 часов, поэтому через точку 6 часов проведена вертикальная пунктирная линия. Наконец, предположено, что наблюдения от 18 до 7 часов утра дали следующие результаты (табл. 54).

Таблица 54

Ход температуры воздуха и точки росы

Часы	18	19	20	21	22	23	24
Температура воздуха	8,1	7,0	5,2	4,6	3,3	2,7	1,7
Точка росы	-4,0	-3,6	-2,8	-2,2	-1,0	-0,7	-1,9

*Продолжение*

Часы	1	2	3	4	5	6	7
Температура воздуха	1,2	1,0	0,9	0,9	1,2	1,6	3,4
Точка росы	-1,3	-1,5	-1,2	-0,9	-0,8	-0,5	-0,2

Все эти данные нанесены на рисунке 108, и по ним проведены ломаные кривые хода температуры воздуха и точки росы. Эти кривые, как было указано выше, вычерчиваются постепенно ночью от часа к часу.

Рассматривать ход кривых температуры воздуха и точки росы следует ежечасно, немедленно после окончания наблюдений. Это даст возможность безошибочно предсказать заморозок за 2—3 часа и принять необходимые защитные меры.

На этом же графике на двух нижних горизонтальных линейках полезно для наглядности наносить каждый час скорость и направление ветра, а также количество облаков среднего и нижнего яруса. При этом можно условно принять, что вертикальные линии направлены с севера на юг (сверху вниз), горизонтальные — с запада на восток (слева направо). Скорость и направление ветра обозначаются стрелкой с оперением, показывающим скорость

вогря. Если клетку считать за полный небесный свод и разделить ее на четыре части, то количество облаков можно изобразить, заштриховывая, например,  $\frac{1}{4}$  клетки, если закрыта  $\frac{1}{4}$  небесного свода;  $\frac{1}{2}$  клетки, если закрыта половина небесного свода, и т. д.

Преимущество описанного метода непрерывного наблюдения в том, что предсказание заморозка безошибочно дается за 2—3 часа. В этом его производственное значение.

При этом не исключено использование других описанных выше методов. Однако *метод непрерывного наблюдения в производственной работе должен быть основным.*

## 7. Методы борьбы с заморозками

*Дымление.* Выше было показано, что условиями, содействующими возникновению заморозков, являются безоблачное небо, затмение и малая влажность. Чтобы противодействовать этим условиям, существуют различные физические приемы. Так, для ослабления излучения при безоблачном небе необходимо создать дымовую завесу. Для этого на защищаемом участке раскладывают из различных отходов (мусор, сучья, перепревший солоmistый навоз, ботва и др.) так называемые дымовые кучи. В выбранном месте на расстоянии 1 м параллельно один другому кладут два кола; между концами их вколачивают в землю вертикально третий кол. Вокруг вертикального кола укладывают легко воспламеняющиеся материалы, например стружки, щепки, сухие сучья; дальше кладут слой влажной ботвы, бурьяна, солоmistого навоза. Высоту кучи доводят до 1,5 м, диаметр основания до 2 м. Чтобы куча дала больше дыма, в нее иногда добавляют деготь, тяжелые минеральные масла, каменноугольную смолу. Всю кучу накрывают тонким слоем земли.

Чтобы поджечь дымовую кучу, вынимают вертикальный кол, тогда в ней образуется «труба». Затем за два кола поднимают кучу с одного края и снизу поджигают ее. Дым, тепло и водяной пар через трубу выходят наружу; таким путем создают дымовую завесу, подогревают воздух и повышают точку росы.

На 1 га защищаемой площади заготавливают 50—60 дымовых куч. Их располагают со стороны возможного притока холодных масс воздуха, а также по всему защищаемому участку, чтобы дым и подогретый воздух с водяным паром не сдувались с участка.

При горении дымовая куча образует значительное количество тепла и подогревает воздух. Чем медленнее она горит, тем лучше используется выделяемое ею тепло.

Выделяемый при горении кучи водяной пар повышает точку росы. Дым от куч замедляет излучение земной поверхностью тепла и после восхода солнца смягчает резкое нагревание растений солнечными лучами.

Дымовые кучи могут создать разницу температур на защищаемом и контрольном участках в несколько градусов, это хорошее средство защиты плодовых деревьев и огородных культур от заморозков. После восхода солнца сразу прекращать дымление нельзя. Если растения прихвачены морозом, то оттаивание их должно идти медленно; только при этом условии они могут избежать гибели. Поэтому и после восхода солнца кучи должны некоторое время гореть и дымить. Работа по созданию дымовых куч трудоемка и требует значительного количества материала. Поэтому раньше чем зажигать кучи, необходимо внимательно рассмотреть «сигнальный график» и результаты предсказаний, полученных различными способами.

Для создания дымовой завесы используют также сельскохозяйственную авиацию. Специально оборудованный самолет при помощи распылителя может выбросить над охраняемой площадью большое количество хлорного олова; соединясь с водяными парами воздуха, хлорное олово образует густую, тяжелую туманную завесу, которая постепенно оседает над защищаемым участком.

Однако опыты показали, что такой химический, холодный дым имеет небольшое защитное действие. Затрудняя излучение земли, он может создать разность температур задымленного и незадымленного участка не больше  $1^{\circ}$ .

Такая небольшая разность температур большого практического значения не имеет.

На малых площадях для защиты от заморозков растения можно покрывать бумажными колпачками.

*Вентиляция.* Чтобы избежать действия возникающего заморозка, необходимо перемешивать прилегающие к земле холодные воздушные массы с более теплыми, расположенными выше. Для этого применяются мощные вентиляторные установки, которые сильной струей гонят воздух на защищаемый участок. Рядом с вентилятором, как одно целое с ним, устроена камера, в которой проходящий воздух подогревается. Таким путем образующиеся слои воздуха с отрицательной температурой быстро ликвидируются.

Мощные винты гонят сильную струю воздуха на несколько десятков метров и больше; поэтому метод сам по себе эффективен, применяется для охраны ценных культур. Недостаток метода — сравнительно небольшой радиус действия установки, дороговизна ее и стационарность. Было бы полезно испытать подобные установки, придав им подвижность хотя бы за счет уменьшения размеров и радиуса действия. От источников тока, которые имеются во многих колхозах и совхозах, можно было бы подвести электроэнергию к различным точкам охраняемой площади и обеспечить работу установки на большой площади.

*Полна.* В борьбе с заморозками большое значение имеет скрытая теплота парообразования. При выделении она существенно повышает температуру воздуха. Необходимо только сделать так,

чтобы скрытая теплота парообразования выделялась до наступления заморозка. Для этого необходимо повысить влажность воздуха, повысить точку росы.

Чтобы увеличить влагосодержание в атмосфере, применяют различные приемы. Со стороны господствующих ветров создают подомсы с таким расчетом, чтобы ветер гнал водяные пары с водной поверхности на защищаемый участок.

Большое значение имеют также ирригационные сооружения, увлажняющие почву и воздух; они применяются не только в области постоянной засушливости, но и за ее пределами в целях борьбы с кратковременными засухами в районах с большим годовым содержанием осадков.

Для увеличения влагосодержания почвы и воздуха применяется также полив по бороздам, полив затоплением, полив дождеванием. Главное здесь заключается в том, что капля воды, прежде чем достигнуть земли, проходит через известный слой воздуха и при этом испаряется. Увлажненная почва также начинает усиленно испарять. В результате приземный слой значительно обогащается водяным паром, точка росы повышается и уменьшается опасность заморозка.

Иногда полив применяют для непосредственного покрытия листьев кустарников и деревьев тонким слоем воды, который служит защитной поверхностью от действия низких температур.

*Подогрев.* Эффективным методом борьбы с заморозками является прямой подогрев воздуха. На рисунке 109 показаны

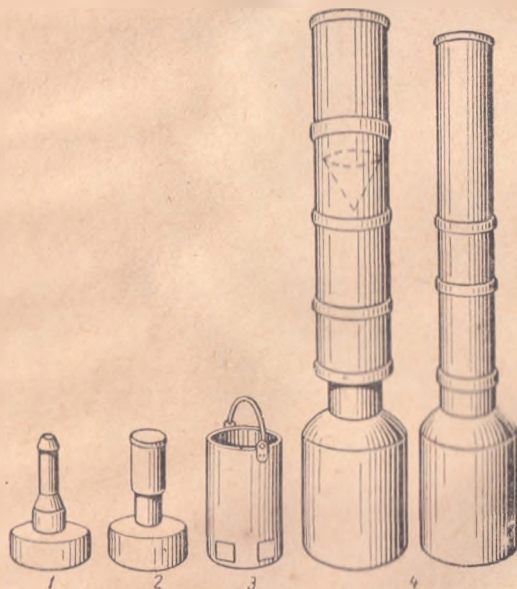


Рис. 109. Различные типы грелок.

применимые для этой цели различного типа грелки. Грелки 1 и 2 по размеру и форме напоминают большие лампы. В резервуары их заливаются отходы нефти.

Тип грелки 2 имеет две трубы: одна обычная, вторая значительно более широкая, чем первая, с одного конца закрытая, накрывает первую. Нагретый воздух поднимается по внутренней трубе вверх, затем опускается вниз и после этого выходит в свободную атмосферу. Грелка этого типа называется *д в у х т р у б н о й*.

Третий тип грелки представляет собой простое ведро с решетчатым дном. В ведро закладываются низкие сорта угля. Грелка этого типа называется *с а л г и р с к о й*.

Наконец, грелки четвертого типа в пять раз выше остальных типов. Высота резервуара с нефтью (50 см) равна полной высоте грелок типа 1, 2 и 3. Внутри трубки помещен опрокинутый вертикально вниз конус, который можно поднять или опустить и закрепить на заданной высоте.

Грелки четвертого типа действуют следующим образом. Нагретый воздух поднимается по трубе вверх и на своем пути встречает конус; обтекая его, воздух попадает на стенку трубы и усиленно нагревает ее. На уровне конуса образуется раскаленное докрасна кольцо, которое излучает тепло. Конус поднимается до такой высоты, чтобы раскаленное кольцо находилось на высоте, например, кроны цитрусового дерева. Излучаемое кольцом тепло будет защищать крону дерева от заморозка.

Рассмотрим, какой же из описанных типов грелок наиболее эффективен, т. е. какой тип грелки на единицу затраченного топлива даст наиболее высокую температуру воздуха среди растений.

Вопрос этот важный. Грелки изготовляются в больших количествах. Поэтому основным показателем качества грелки является ее экономичность. Чтобы решить этот вопрос, необходимо прежде всего сформулировать, какая цель грелки и каким условиям она должна соответствовать.

Основная задача грелки — повысить температуру воздуха вокруг охраняемых растений, сделать это с наибольшей экономией топлива.

Исходя из этого основного положения, можно сказать, что грелка не должна быть высокой, чтобы не создавать вертикальных потоков тепла, идущих без пользы мимо растений, обогревающих «небесный свод».

Выделяемое грелкой тепло, раньше чем уйти вверх, должно пройти между охраняемыми культурами. Грелка должна рассеивать выделяемое ею тепло по возможности на большой объем воздуха.

Тепло, выделяемое грелкой, должно передаваться окружающим слоям воздуха среди растений всеми возможными видами передачи тепла, т. е. конвекцией, турбулентным перемешиванием, из-

лучением, а не только каким-либо одним способом, например излучением.

Эти основные положения дают возможность сравнить различные типы грелок, наметить рациональные пути их усовершенствования.

Тип грелки 4 наименее удачен, так как здесь основное количество выделяемого тепла направляется вверх, создается четко выраженный вертикальный поток теплого уходящего воздуха. Малая эффективность этой грелки очевидна, так как происходят большие и бесполезные потери тепла и топливных материалов.

Остальные три типа грелок лучше потому, что имеют малый размер. Тепло, выделяемое сжигаемым топливом, более равномерно распределяется по всей охраняемой площади; создаваемое тепло в большей степени будет рассеяно, и подогретые массы воздуха, поднимаясь, будут передавать свое тепло конвекцией, турбулентным перемешиванием и излучением.

Можно предполагать, что лучший тип грелки второй. Здесь тепловой поток идет с наиболее низкого уровня и распределяется в воздухе по наибольшему объему. Эту конструкцию грелки можно было бы улучшить, введя распределительный колпак или горизонтальную поверхность большего диаметра, расположенную над грелкой.

*Посадки на склонах.* Как было указано выше, рельеф может служить причиной возникновения заморозков. В замкнутые котловины холодный воздух стекает по склонам вниз и образует озера холодного воздуха. Чтобы уменьшить возможность возникновения заморозка в этом случае, необходимо затормозить движение воздушных масс, стекающих в котловину.

Достигнуть этого можно посадкой *густых высоких кустарниковых полос по верхней кромке котловины и на боковых склонах.* В нижней части своей они должны быть максимально густыми, непродуваемыми. Растения должны быть посажены близко одно к другому, в несколько рядов. Такая полоса не остановит стекание холодного воздуха, однако она может настолько замедлить накопление холодных воздушных масс, что заморозок до восхода солнца не возникнет. Полоса должна быть посажена без разрывов вокруг всей котловины. *При организации борьбы с заморозками такие посадки должны быть сделаны в первую очередь.*

Агроном при решении вопроса о распределении культур по полям должен помнить об опасности заморозков в пониженных местах и особенно в замкнутых котловинах.

*Биологические методы борьбы с заморозками.* Биологи имеют в своем распоряжении сильные методы борьбы с заморозками. Селекционеры, применяя методы мичуринской биологии, выводят позднецветущие сорта и таким путем устраняют опасность весенних заморозков, выводят также скороспелые сорта, чтобы устранить действие осенних заморозков. Изменение сроков сева влечет

из своей жизни в желательном направлении всех фаз развития и роста растений.

Задержка начала весенней вегетации дерева может быть достигнута пригнатыванием снега к стволу под крону дерева и замедлением таяния снега. Проф. В. А. Колесников рекомендует, однако, пользоваться указанным приемом с осторожностью; следует помнить во внимание, что на почвах, имеющих пылевидную структуру и переувлажненных, такой прием может неблагоприятно отразиться на весеннем росте корневой системы.

Согласно исследованиям проф. В. А. Колесникова, для нормальной деятельности листового аппарата ко времени его образования весной должна быть своевременно создана достаточная масса всасывающих корней. Длительное охлаждение почвы весной не позволяет вовремя развиться всасывающим корням, что, как правило, приводит только что распустившиеся листья к угнетенному состоянию и даже к их осыпанию. Это же, в свою очередь, ведет к осыпанию завязей и сильному уменьшению урожая плодовых деревьев. Хорошее удобрение и питание растения также способствуют его большой выносливости к низким температурам.

На Черноморском побережье Кавказа П. П. Лаврийчук проводил успешные опыты по разработке способов выращивания стелющейся формы лимона и защиты ее путем укрытия растительным материалом, марлей или мешковиной. При этом оказалось, что укрытые стелющиеся культуры лимона переносят заморозки до 14—15°.

## **8. Подготовка и проведение работ по борьбе с заморозками**

Подготовку к борьбе с заморозками следует начать с изучения рельефа. Если на территории хозяйства имеются замкнутые долины, котловины, то по верхней кромке их и по склонам следует посадить густые непродуваемые непрерывные полосы.

Далее необходимо детально изучить климат местности, в которой расположено хозяйство. Для этого следует ознакомиться со всеми справочниками по климату данной области, изданными учреждениями гидрометслужбы. Кроме того, необходимо ознакомиться с материалами ближайших метеорологических станций, выяснить сроки начала и конца весенних и осенних заморозков. Следует помнить, что метеорологические станции дают сроки первых и последних заморозков, которые наблюдались на уровне 2 м. Вблизи земной поверхности на траве, на пару или в культурах продолжительность заморозков значительно длиннее. В приземном слое заморозки могут начинаться на 10—15 дней раньше и на такой же срок кончаться позднее. На высоте 2 м в метеорологической будке температура может быть 3—5°, в то время как под будкой в приземном слое воздуха может быть заморозок.



Об этом следует помнить при пользовании результатами наблюдений, а также различными климатическими справочниками, картами распределения заморозков.

По тем же материалам следует установить преобладающее направление ветра для периода заморозков.

Дальнейшая подготовка к борьбе с заморозками состоит в создании водоемов, которые должны быть расположены около защищаемого участка перпендикулярно направлению преобладающих ветров, а также с севера и северо-востока; водоемы могут быть расположены также среди культур.

На участке должны быть подготовлены дымовые кучи.

Следует заранее наместить пункты, где будет вестись измерение температуры и влажности воздуха, и приготовить там стойки для укрепления фитопсихрометров; каждый пункт должен иметь свой порядковый номер. Приборы должны быть установлены за неделю до начала периода возможных заморозков; тогда же должны быть начаты наблюдения. Наблюдения следует вести через каждый час ежедневно с 18 часов до восхода солнца следующего дня. По результатам измерений составляют «сигнальный график» и ежедневно его анализируют.

## 9. Сигнализаторы

При организации непрерывных наблюдений хода температуры воздуха существенную помощь могут оказать автоматические «сигнализаторы заданных температур», установленные на удаленных участках.

Автор этой книги предложил для этой цели использовать обычный термограф. Путем небольших конструктивных переделок его можно превратить в сигнализатор любой заданной температуры, заморозка в поле, перегрева в теплицах и т. п.

Чтобы термограф переделать в термограф-сигнализатор, необходимо внести следующие конструктивные изменения.

Вместо обычной ленты, надеваемой на цилиндр термографа, следует пользоваться «сигнальной лентой» (рис. 110). Она отличается от обычной ленты тем, что на ней вдоль делений шкалы соответствующих температур, которые следует сигнализировать,

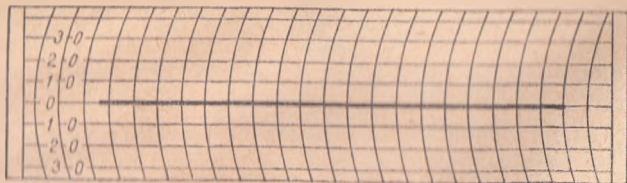


Рис. 110. Сигнальная лента

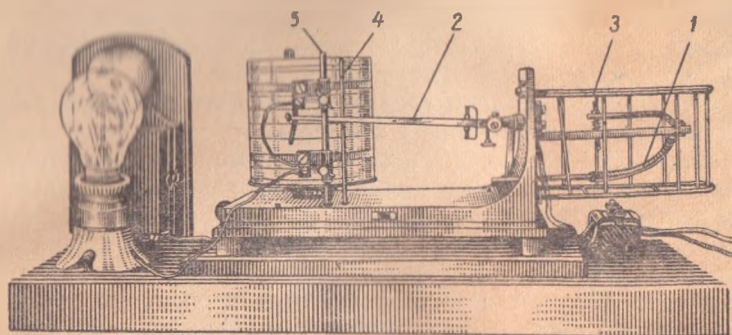


Рис. 111. Схема сигнализатора.

нанесены электропроводящие полоски. Эти полоски могут быть нанесены электропроводящими красками, графитом или состоять из тонкой ленты станноля.

На одной и той же ленте можно нанести несколько полосок для сигнализации разных температур.

Термограф включается в электрическую цепь. Один полюс источника тока включен на корпус прибора или на перо самописца. Другой полюс включен на электропроводящую полоску, постоянно прикасается к ней, не мешая, однако, вращению цилиндра. Чтобы поддерживать конец этого второго провода, прикасающегося к полоске, на платформочке прибора установлена специальная стойка с зажимом. Схема сигнализатора показана на рисунке 111. Приемником температуры служит биметаллическая пластинка 1. При помощи системы рычагов она связана с пером 2, на конце которого укреплен небольшой резервуар с чернилами. Граненый пиффт 3 служит для установки пера термографа на начальное правильное деление температуры. Колонка 4 служит для отодвигания пера от ленты или накладывания пера на ленту. Колонка, поддерживающая второй контактный провод, обозначена номером 5.

Очевидно, если перо дойдет до электропроводящей полоски и коснется ее, ток замкнется, все сигнальные приборы начнут действовать и смогут привести в действие все защитные приспособления: например, зажечь в саду отопительные грелки или дымовые кучи, включить ток для работы вентиляторов или других приборов в теплицах, овощехранилищах или, наоборот, выключить их.

При современном развитии в нашей стране электросети во многих колхозах или совхозах возможно применить электрообогрев сада или защищаемой площади специально сконструированными электрическими грелками.

Управление подогревом сада при наличии описанных выше сигнализаторов может быть в полной мере автоматизировано.

## ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОГОДЫ

Чтобы предсказывать погоду, необходима мощная сеть метеорологических станций и ряд центральных гидрометеорологических учреждений, обрабатывающих результаты наблюдений и составляющих предсказания погоды. Эти предсказания должны быть своевременно сообщены каждому хозяйству государственной гидрометслужбой. Агроном должен уметь ориентироваться во всех предсказаниях погоды и синоптических картах, доставленных ему учреждениями гидрометслужбы, и уметь использовать их в производственной работе. Под этим углом зрения и ведется в дальнейшем рассмотрение методов предсказания погоды.

## 1. Синоптическая карта

Распределение погоды по земной поверхности в данное время может быть самым разнообразным. В одном районе может быть солнечная погода, в соседнем — дождливая, далее грозовая, ветреная и т. д. Чтобы для заданного момента времени видеть распределение погоды на известной большой территории, например области или даже целого государства, составляют так называемые карты погоды, или синоптические карты.

В установленные сроки на каждой метеорологической станции проводят наблюдения основных метеорологических элементов и результаты немедленно — по радио, телеграфу или телефону — передают в центральные учреждения гидрометеорологической службы.

Результаты наблюдений каждой станции в известном порядке наносятся на бланк географической карты вокруг места расположения самой станции.

Для более наглядного распределения метеорологических элементов некоторые явления на карте отмечают условными знаками (рис. 112). Например, *облачность* изображается зачерпленным кружком, если весь небесный свод покрыт облаками, или светлым кружком, если небо безоблачно. Если облака покрывают часть небесного свода, закрашивается только часть кружка.










Безоблачно	○	Морось	⋄
Полная облачность	●	Поземок	⊕
Наибольшая облачность	◐	Скорость и направление ветра	
Значительная облачность	◑	Пыльная буря	⊕
Туман	≡	Область выпадения осадков	
Мгла или дымка	∞	Фронт теплый	
Поземный туман	≡	Фронт холодный	
Сплошные туманы		Фронт замыкания (окклюзии)	
Дождь	●	Изобара	
Снег	*	Районы ливней	
Ливень	⊕	Районы морозящих осадков	
Град, крупа	⊕		
Гроза	⊕		

Рис. 112. Условные обозначения на картах погоды.

*Скорость и направление ветра* обозначают стрелкой, которая нарисована летящей в направлении к кружку станции; оперение стрелки показывает скорость ветра; каждое короткое перо обозначает 1 балл, длинное — 2 балла; около хвоста стрелки может быть нанесено несколько перьев, в сумме характеризующих скорость ветра.

Для характеристики распределения *давления* воздуха наносят числа, полученные в результате наблюдений, и по ним проводят *изобары*, отмечают области высокого и низкого давления (более подробно это было объяснено в § 11, гл. 1).

Границы между различными воздушными массами, так называемые фронты, наносятся различными обозначениями в зависимости от условий, описанных в дальнейшем. Области *выпадения осадков* заштриховываются наклонными параллельными линиями. Область, покрытая сплошным *туманом*, заштриховывается короткими параллельными горизонтальными штрихами и т. д.

Условные обозначения имеют различные дополнительные знаки, усиливающие их или ослабляющие; для этой же цели наносят иногда группу одних и тех же знаков, а также в соединении с другими.

Синоopticическая карта дает возможность видеть для определенного срока распределение погоды по всей территории, для которой она составлена.

## 2. Воздушные массы, их свойства и классификация

Тепловой режим нижних слоев атмосферы определяется подстилающей поверхностью земли, с которой эти воздушные массы соприкасаются. Воздушная масса над пустыней Сахарой будет иметь гораздо более высокую температуру, чем воздушная масса, расположенная на той же параллели над Атлантическим океаном, имеющим более низкую температуру, чем поверхность почвы Сахары. Кроме того, над Атлантическим океаном воздух будет иметь большую влажность, чем воздух над безводной пустыней. Наконец, воздух над океаном будет менее запыленным, чем воздух над Сахарой, с поверхности которой ветер, вихревые и турбулентные движения поднимают огромные количества ее до очень больших высот.

Поэтому над континентом Сахары формируется воздушная масса, имеющая сравнительно высокую температуру, малую влажность и большое содержание пыли. В данном случае масса с такими физическими свойствами называется *континентальной* *воздушной* *массой*.

Над океаном формируется воздушная масса, имеющая сравнительно более низкую температуру, большую влажность и меньшее содержание пыли. Масса с такими физическими свойствами называется *морской* *воздушной* *массой*. В зимнее время континентальная масса воздуха имеет более низкую температуру, чем морская.

Очевидно, морская и континентальная воздушные массы имеют различные физические свойства.

Так как различные части земной поверхности разнообразны и представляют собой песок, воду, различные почвы, покрытые и не покрытые растительностью, то, очевидно, и прилегающие к ним слои воздуха имеют самые разнообразные физические свойства. Атмосфера оказывается расчлененной на отдельные массы, каждая из которых имеет свою физическую характеристику.

Размеры воздушных масс по горизонтали — тысячи километров, иногда до верхней границы тропосферы, т. е. в мировом масштабе это очень тонкие слои воздуха, имеющие большое протяжение по горизонтали.

В Арктике севернее 70° параллели формируются так называемые *арктические* *воздушные* *массы*, сокращенно обозначаемые *АВ*. Зимой арктические воздушные массы формируются также в северных областях материка, в частности на Таймыре, Колыме и Чукотке.

Вторжение арктических воздушных масс на материк происходит чаще всего с Карского моря, через Западную Сибирь и Забайкалье, иногда с Восточно-Сибирского моря через Якутию или со стороны моря Лаптевых и Колымы.

На континентах и океанах, расположенных между 40 и 70° параллелями, формируются воздушные массы умеренных широт, которые раньше назывались полярными воздушными массами (ПВ).

На широте 30—40° в западной части Средней Азии, Малой Азии, Казахстане, Монголии, в центральных областях Китая, а также летом на юге Европы, на Украине, в Нижнем Поволжье, на Кавказе формируются тропические воздушные массы (ТВ). Перечисленные воздушные массы могут быть континентальными и морскими.

В экваториальных областях в полосе затишья до 10° с. ш. формируются экваториальные воздушные массы (ЭВ).

Таковы главнейшие области возникновения и формирования различных воздушных масс.

Классификация воздушных масс может быть проведена также по отдельным физическим свойствам. Например, различают массы сухие и влажные — по содержанию в них водяного пара; массы устойчивые и неустойчивые — в зависимости от вертикального распределения температуры и способности к развитию и поддержанию в этих массах вертикальных движений.

### 3. Трансформация воздушных масс

Воздушные массы не остаются неподвижными, а непрерывно перемещаются по земной поверхности, при этом они с одной подстилающей поверхности переходит на другую, с моря переходят на сушу или наоборот.

Как только изменится подстилающая поверхность, тотчас же начинают изменяться физические свойства массы. Например, континентальная воздушная масса, переместившись на водную поверхность, немедленно начинает передавать часть своего тепла воде, и, следовательно, понижается температура массы. В то же время она обогащается водяным паром, повышается ее влажность. Континентальная воздушная масса в результате взаимодействия с водной подстилающей поверхностью начинает постепенно трансформироваться, теряет свойства континентальной массы и приобретает свойства морской воздушной массы.

Если морская воздушная масса выходит на материк, то в летнее время она начинает подогреваться снизу от земной поверхности и становится неустойчивой, в ней возникают вертикальные движения, конвекция, а также турбулентные движения. В результате температура воздушной массы повышается. Если воздушная масса движется с моря на материк в зимнее время, то она охлаждается снизу, становится устойчивой.

Развивающиеся вертикальные движения приводят к образованию облаков и выпадению осадков. Влажность воздуха постепенно

уменьшается. Воздушная масса, перемещаясь в глубь материка, все более приобретает свойства континентальной воздушной массы.

Эти примеры показывают, что воздушная масса, непрерывно двигаясь по земной поверхности и взаимодействуя с различного рода подстилающими поверхностями, непрерывно трансформируется, теряет одни свойства и приобретает другие. При этом она в известных пределах оказывает влияние на подстилающую поверхность.

#### 4. Фронт

Расположенные рядом различные воздушные массы имеют разную температуру. Массу, которая имеет более высокую температуру, называют *теплой*; массу, имеющую более низкую температуру, называют *холодной*.

Следовательно, названия «теплая» и «холодная» показывают только, что данная масса имеет более высокую или низкую температуру по сравнению с соседней. При этом действительные значения температуры не играют роли; например, теплая масса может иметь температуру  $-20^{\circ}$ , холодная  $-30^{\circ}$ .

Поверхность раздела между двумя соседними воздушными массами называется *фронтальной поверхностью*. Пересечение фронтальной поверхности с земной поверхностью называется *линией фронта*, или сокращенно *фронтом*.

Фронтальная поверхность является переходной от одной воздушной массы к другой. Ширина ее может быть 0,5 км и больше. Эта поверхность наклонена в сторону холодной массы. Угол наклона может быть очень малым, например равным  $1^{\circ}$ , поэтому фронт или переходная зона от одной массы к другой на земной поверхности может быть значительной ширины — до 60 км и более.

При взаимодействии двух рядом расположенных воздушных масс могут быть два варианта: теплая масса наступает на холодную или, наоборот, холодная масса наступает на теплую. В первом случае фронт называется *теплым*, во втором — *холодным*. Следовательно, название фронта зависит от того, какая воздушная масса более активна по отношению к соседней воздушной массе.

Рассмотрим два возможных варианта.

#### 5. Теплый фронт

В этом случае наступление ведет теплая воздушная масса на холодную. Этот вариант изображен на рисунке 113. Отметим, что на рисунке масштаб по горизонтали и по вертикали разный; если бы он был одинаковым, то рисунок оказался бы сильно вытянутым по горизонтали и не поместился бы на странице. Поэтому,

рассматривая рисунок, его следует мысленно растянуть по горизонтали.

Теплая воздушная масса расположена с левой стороны и настигает широкую, натекает на холодную массу воздуха. Фронтальная поверхность, отделяющая теплую массу от холодной, обозначена двумя наклонными линиями. Теплый воздух натекает на холодную воздушную массу и, как по наклонной плоскости, поднимается по ней вверх. При этом происходят все физические процессы, сопутствующие вертикальному движению воздуха, направленному снизу вверх: поднимающаяся воздушная масса постепенно охлаждается. Вначале это охлаждение идет адиабатически со скоростью  $1^\circ$  на каждые 100 м поднятия. По достижении точки росы начинается конденсация и выделение скрытой теплоты испарения. Вблизи линии фронта образуются облака нижнего яруса (Ns); затем в более высоких слоях образуются облака среднего яруса (As) и, наконец, в наибольшем удалении от линии фронта и на наибольшей высоте образуются облака верхнего яруса (Cs и Ci). Под фронтальной поверхностью наблюдаются разорванные дождевые облака (Frib). Образовалась система облаков различных ярусов, постепенно переходящих один в другой и расположенных на огромной наклонной плоскости, растянутой на 800—1000 км.

При достаточной продолжительности натока теплых воздушных масс из облаков нижнего яруса, расположенных вблизи линии фронта, начинается выпадение осадков. Так как облака нижнего яруса расположены на широкой полосе до 300 км от линии фронта, осадки охватывают обширную площадь. Запасы воды, которые несут с собой облака, распределяются по большой площади; в результате образуются *обложные дожди малой интенсивности*. Таков характер осадков на теплом фронте. Дожди малой интенсивности благоприятны для сельского хозяйства: вода

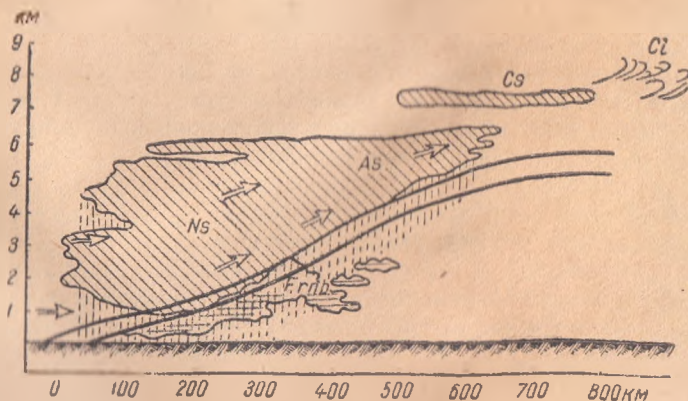


Рис. 113. Схема теплого фронта.



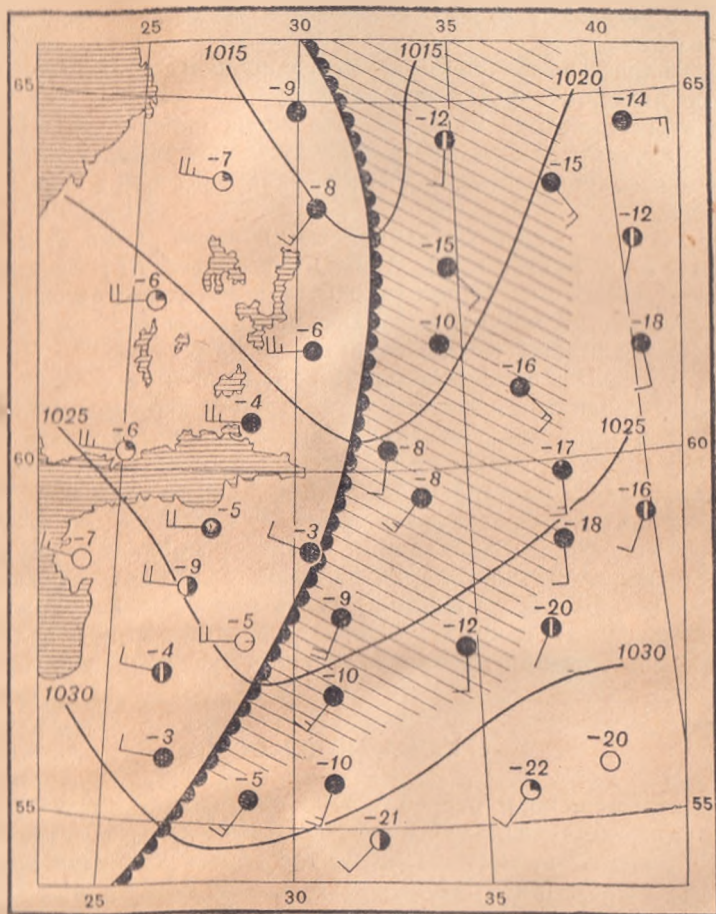


Рис. 114. Теплый фронт на карте погоды.

успевает просачиваться в почву и в последующем может быть использована растениями. Бесполезный поверхностный сток воды уменьшается.

Вся эта система — теплый фронт — может перемещаться как одно целое. Допустим, что наблюдатель находится в наибольшем удалении от фронта и следит за надвигающимся на него теплым фронтом. Тогда на небесном своде со стороны фронта наблюдатель будет видеть облака верхнего яруса, которые будут перемещаться по небесному своду. На этих облаках иногда во круг солнца или луны образуется гало. Перистые облака идут не изолированно, а постепенно уплотняются и переходят в облачка более низких форм среднего яруса. Они подходят к месту наблюдения вслед за

облаками верхнего яруса. В облаках среднего яруса наблюдаются веники.

Дальнейшее приближение фронта сопровождается появлением облаков нижнего яруса и осадками.

Из этого описания вытекает, что смена облаков на небесном своде не случайна. Облака — результат сложных физических процессов и образуют *системы* облаков, охватывающие большие пространства.

Впервые на существование систем облаков, а не отдельных облачных форм указал проф. А. В. Добровольский. Впоследствии Ф. Шерешевский и Ф. Верле разработали метод предсказания погоды, основанный на наблюдениях возникновения, развития и движения различных систем облаков.

На рисунке 114 приведена часть карты погоды с теплым фронтом. Теплая воздушная масса наступает слева направо. Это можно видеть по направлению стрелок, показывающих скорость и направление ветра, а также по орнаменту: вершины полуокружностей направлены в сторону движения теплого воздуха. Слева от линии теплого фронта располагается теплая масса воздуха, справа — холодная. Вдоль линии фронта расположена широкая полоса (зашифрованная параллельными линиями), на которой выпадают осадки. Числа около кружков станций показывают температуру воздуха. Чтобы не усложнять рисунка, на нем нанесены условные обозначения не всех метеорологических элементов.

## 6. Холодный фронт

Рассмотрим теперь второй возможный случай, когда наступление ведет холодная масса воздуха. Холодный воздух имеет большую плотность, чем теплый, поэтому натекает на теплый воздух он не может (рис. 115).

Холодный воздух подтекает под теплый и поднимает его на себе вверх. Скорость перемещения холодного воздуха не может быть большой, так как оно совершается с известными трудностями поднятия теплых масс воздуха и преодоления их сопротивления.

Поднятие теплых воздушных масс совершается под большим углом, вверх; в результате за линией холодного фронта образуются облака Cs, As, Ns. Вблизи линии фронта идут осадки. Таковы свойства холодного фронта 1-го рода.

Особенно круто поднимаются теплые воздушные массы, если холодные массы воздуха продвигаются со значительной скоростью. При этих условиях образуется холодный фронт 2-го рода.

Образующиеся облака вертикального развития Cb, а также As, Ae располагаются впереди фронта. Здесь также могут образоваться разорвано дождевые облака (Frib). Позади холодного

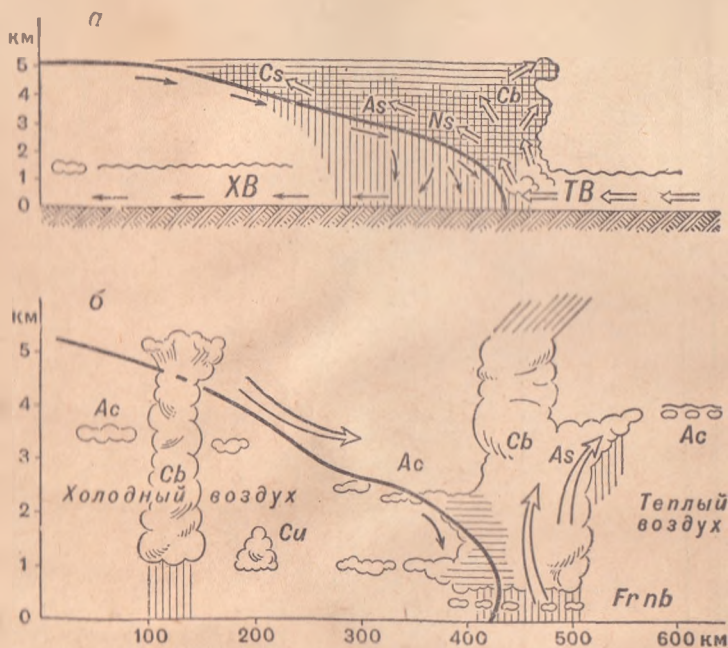


Рис. 115. Схема холодного фронта.

фронта могут возникнуть кучевые (Cu), кучево-дождевые (Cb) и высокослоистые (As) облака.

Полоса облаков и осадков имеет небольшую ширину в несколько десятков километров; она не представляет собой сплошной полосы вдоль линии фронта, а может быть разорванной на части.

Облачность и осадки могут развиваться по обе стороны фронта, вблизи него; осадки носят ливневый характер и сопровождаются шквалом.

На рисунке 116 показан холодный фронт на карте погоды. Обозначения те же, что и на предыдущем рисунке теплого фронта. Наступление холодных масс идет слева направо; на это указывают вершины треугольников орнамента. Большая облачность и осадки наблюдаются позади движущегося холодного фронта.

## 7. Возникновение и развитие циклона

На границе двух движущихся одна относительно другой воздушных масс всегда возникают волны. На рисунке 117 начальное исходное положение движущихся воздушных масс отмечено цифрой 1. Течение теплого воздуха обозначено стрелкой с двойной

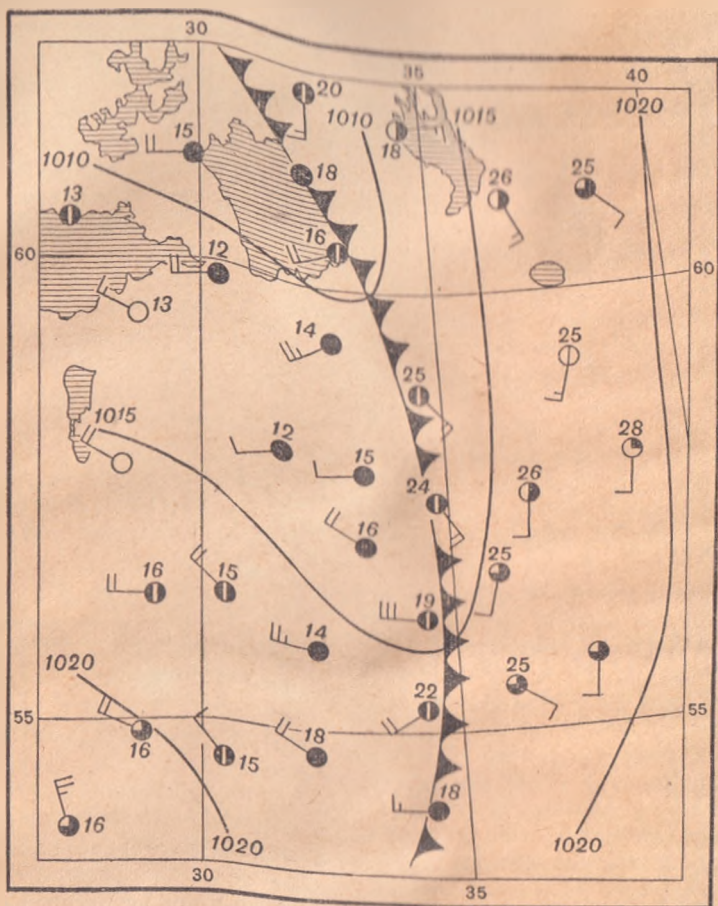


Рис. 116. Холодный фронт на карте погоды.

линией. Далее показана начальная стадия развития волны (2) и последующая фаза развития волнообразного движения (3). Затем волнообразное движение перерастает в вихревое (4—5). У земной поверхности виден теплый воздух, окруженный со всех сторон холодным воздухом, однако занимаемая им площадь (5) меньше, чем у предыдущей стадии (4); далее (6) теплого воздуха у земной поверхности вообще нет. Теплый воздух оказался вытесненным вверх. Цифрами 7 и 8 отмечены заключительные стадии затухающего вихревого движения.

Подобного рода вихрь имеет в центре восходящее движение воздуха и пониженное давление; он называется **циклоном**.

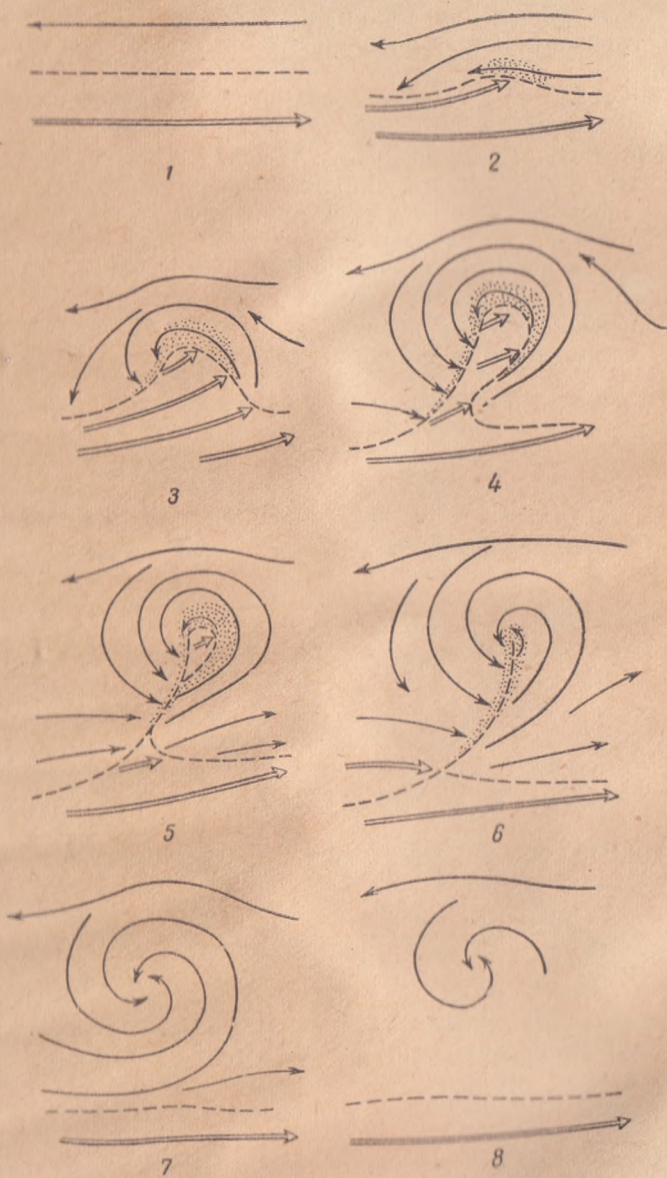


Рис. 117. Стадии развития циклона.

В северном полушарии движение воздушных масс в циклоне происходит против часовой стрелки.

Рассмотрим более подробно процесс развития циклона в проекции на горизонтальную поверхность, а также в вертикальном разрезе.

На рисунке 118 показана средняя стадия развития циклона. Теплые воздушные массы вторглись на территорию, которая ранее была занята холодным воздухом, и ведут на него наступление: образовался теплый фронт. Параллельно линии фронта расположились полосы облаков всех трех ярусов. Облака нижнего яруса дали обложные длительные осадки небольшой интенсивности. Полоса, на которой выпадают осадки, заштрихована параллельными линиями; ширина ее достигает 300 км.

Наступающие теплые воздушные массы с тыла представляют меньшее сопротивление соседним холодным воздушным массам,

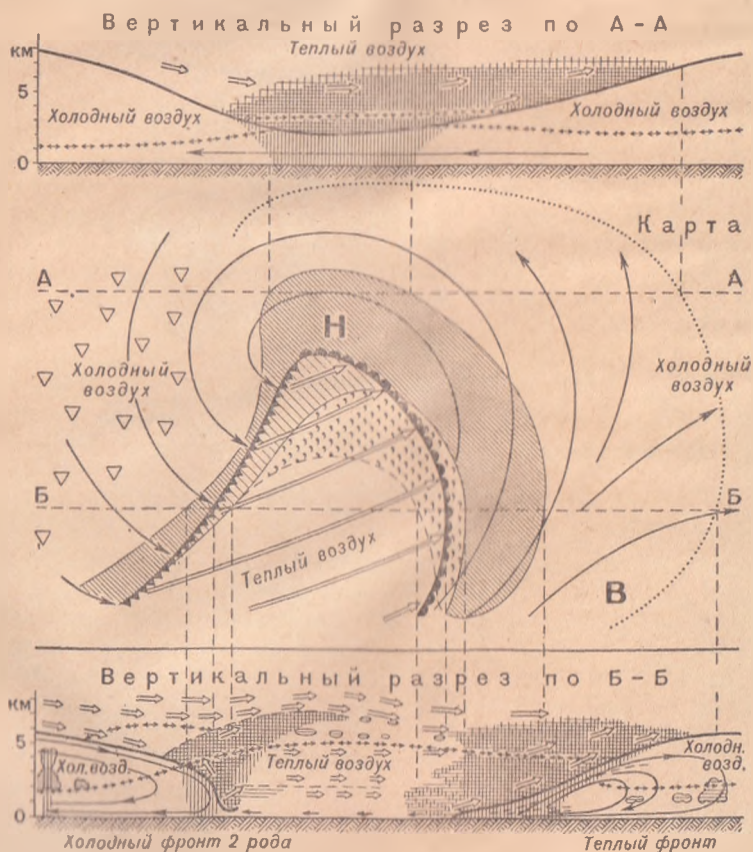


Рис. 118. Циклон и его строение.

которые двигаются за теплыми массами и образуют холодный фронт. Оба фронта оказались между собой связанными. Вдоль по холодному фронту идут ливневые осадки и грозы. Полоса осадков узкая, около 80 км.

В целом вся система представляет собой вихревое движение против часовой стрелки.

В нижней части рисунка 118 дан вертикальный разрез по линии *ВВ*. На нем справа показан теплый фронт. Слева наступают холодные воздушные массы: образовался холодный фронт с облаками вертикального развития и ливневыми осадками.

В верхней части рисунка показано сечение по линии *АА*. В этой части циклона у земной поверхности находится только холодный воздух. Между линиями фронтов в центре имеется площадь, занимаемая теплой воздушной массой; по обе стороны ее располагаются холодные воздушные массы.

В процессе развития вихревого движения — циклона — холодная масса, подтекая под теплую, постепенно уменьшает площадь, на которой была расположена теплая масса; наконец, наступает момент, когда холодный фронт достигнет линии теплого фронта; образуется фронт окклюзии, или замыкания. В этом случае теплый воздух оказывается вытесненным вверх (от земной поверхности); она находится между двумя фронтальными поверхностями, наклоненными в противоположные стороны. Холодная воздушная масса будет передвигаться до тех пор, пока теплая воздушная масса не будет полностью вытолкнута вверх. Холодная масса воздуха вернула всю площадь, которую она раньше занимала. Процесс развития циклона по существу закончился.

Может, однако, оказаться, что холодные массы, образовавшие фронт окклюзии, в свою очередь, имеют разную температуру и при соприкосновении могут образовать вторичный фронт, который может быть теплым и холодным: происходит регенерация циклона.

Возможен случай, когда раздел между двумя массами воздуха размывается и происходит полная дегенерация окклюзии.

Описание показывает, что во всей центральной части циклона теплые воздушные массы поднимаются вертикально, поэтому здесь наблюдаются облака и осадки.

Изобары в циклоне вблизи центра имеют форму, близкую к эллипсу; давление, соответствующее каждой изобаре, понижается к центру. На рисунке циклон представляет собой серию таких изобар-эллипсов, вложенных один в другой и между собой не пересекающихся. Расположение эллипсов не симметричное, в юго-восточной части они обычно бывают сближены. Большая ось эллипсов обычно направлена с юго-запада на северо-восток.

В центре циклона наблюдается низкое давление, иногда достигающее 700 мм (935 мб). От центра к периферии давление повышается, однако величина этого повышения на единицу расстоя-

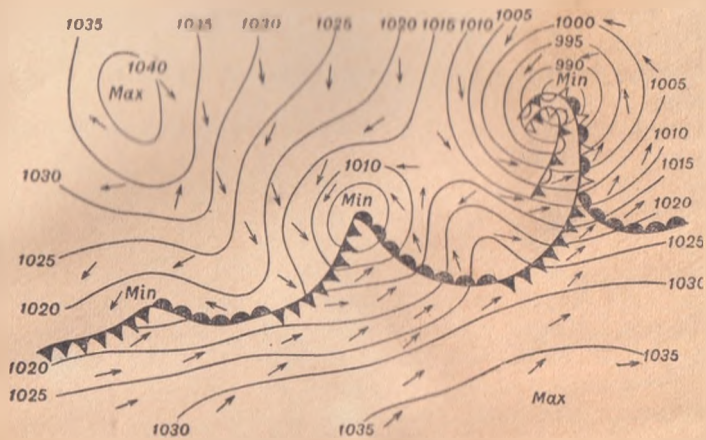


Рис. 119. Серия циклонов.

ния, т. е. величина барического градиента, зависит от сектора. Наибольшее значение градиент имеет в юго-восточном секторе циклона, в связи с этим здесь наблюдаются большие скорости ветра.

Как правило, циклоны движутся с запада на восток. Однако возможны и другие направления. Иногда циклон останавливается, описывает петлю. Скорость движения воздушных масс внутри циклона обычно 10—15 м/сек, но может достигать 30 м/сек и более. В самом центре циклона скорость ветра уменьшается и в отдельных случаях наблюдается штиль.

Скорость движения циклона 30—50 км/час, но может достигать 100 км/час.

Линия соприкосновения различных воздушных масс может иметь очень большую длину. Например, линия соприкосновения холодных арктических масс воздуха с массами умеренных широт имеет извилистую форму, протяженность этой линии фронта исчисляется тысячами километров.

На этой линии фронта может образоваться несколько волн и, следовательно, несколько циклонов. Они могут находиться в различных стадиях развития. На рисунке 119 показана схема такой серии циклонов. Первый из них проходит начальную стадию зарождения, второй находится на стадии полного развития, третий является в большей части окклюдированным, закончившим цикл развития.

Циклоны могут проходить сериями, один за другим, через небольшие промежутки времени. Циклоны способствуют межширотному обмену воздушных масс: теплые массы продвигаются к северу, холодные — к югу.



Может, однако, оказаться, что между различными массами воздуха, например между массой арктической и умеренных широт, на известных участках нет четкой разделяющей их фронтальной поверхности и линии фронта. В этом случае одна масса переходит в другую постепенно на протяжении многих километров.

## 8. Погода в циклонах

Циклоны бывают разные по глубине пониженного давления, занимаемой площади, форме изобар, скорости воздушного потока, направлению движения и по многим другим признакам. Поэтому распределение погоды в циклоне может быть разнообразным. Имеются, однако, некоторые черты распределения погоды, повторяющиеся во всех циклонах.

Так как циклон — вихревое движение, в центре которого происходит движение, то в центральных областях циклона наблюдается мощная облачность с осадками. Циклон возник в результате взаимодействия двух различных воздушных масс. Поэтому в циклоне есть два фронта — теплый и холодный, каждый со своим характерным распределением погоды. Между фронтами в юго-восточном секторе значения температуры и абсолютной влажности наиболее высоки, как результат притока воздушных масс с юга. В этом же секторе, так же как и в центре циклона, наблюдается максимум облачности.

В северо-западной части циклона в связи с притоком воздушных масс с севера наблюдаются пониженные температуры, малая абсолютная влажность и минимум облачности.

## 9. Антициклон и погода в нем

Вычерчивая на синоптических картах изобары, можно обнаружить существование не только областей низкого давления циклонов, но и областей высокого давления — антициклонов; свойства их противоположны свойствам циклонов.

Антициклон представляет собой однородную мощную воздушную массу, обычно занимающую большое пространство диаметром до 2000 км. Он образуется в результате притока воздушных масс и опускания их сверху вниз; вследствие этого в центре антициклона накапливаются воздушные массы, образуется высокое давление. В большинстве случаев в антициклоне ясен, безоблачная погода; осадки отсутствуют.

Такой тип хорошей погоды наблюдается главным образом в летнее время.

В зимнее время в антициклонах можно выделить два основных типа погоды: малооблачная морозная погода в центральной

части антициклона и второй тип — значительная сплошная слоистая или слоисто-кучевая облачность. Первый тип часто встречается в районах, расположенных в глубине больших материков. Второй тип погоды характерен для медленно развивающихся и разрушающихся антициклонов, когда внутри них могут возникать положительные вертикальные скорости.

На окраинах антициклонов довольно часты кучевые облака, а в отдельных случаях и грозы.

От центра антициклона из области высокого давления воздушные массы растекаются к периферии. Вследствие отклоняющего действия вращения Земли растекание воздушных масс происходит по часовой стрелке. Градиенты давления по горизонтали невелики. Антициклон — система малоподвижная, он иногда подолгу остается на одном месте.

Кроме циклонов и антициклонов, существуют различные переходные формы барического рельефа. Например, между двумя областями низкого давления может быть «гребень», между областями высокого давления может образоваться «седловина» и другие переходные формы.

Погода в таких переходных формах барического рельефа определяется влиянием соседних основных форм — циклонов и антициклонов, и потому предсказание погоды в этих условиях значительно затруднено.

## 10. Понятие о методах предсказания погоды

Чтобы предсказывать погоду, необходимо прежде всего видеть, какие физические процессы в данный период протекают в атмосфере, в каком направлении и с какой интенсивностью.

Этого можно достигнуть, если через краткие промежутки времени (например, через каждые 6, 12 или 24 часа) составлять синоптические карты и затем сравнивать их между собой.

Каждая синоптическая карта в отдельности характеризует распределение погоды по стране в заданный срок, для которого составлена карта. Две соседние по времени карты могут показать, какие процессы протекали в атмосфере в промежуток времени от одного срока до другого, для которого составлена синоптическая карта.

Сравнивая две синоптические карты, можно, например, установить, понижается ли давление в циклоне, имеющемся на карте, или он затухает; куда и с какой скоростью перемещается область низкого или высокого давления; возникают ли фронты — теплый или холодный, куда и с какой скоростью они перемещаются; где имеются области с грозой, дождем и куда они перемещаются; ослабевает ли выпадение осадков или, наоборот, усиливается; где

располагаются области, покрытые густой облачностью, куда они перемещаются, с какой скоростью, и т. д.

*Сравнение двух последующих синоптических карт дает возможность изучить физические процессы, которые протекали в атмосфере в последний промежуток времени между сроками, для которых составлены карты.*

По этим данным можно сделать обоснованное предположение, как будут протекать эти процессы в предстоящий промежуток времени, и таким образом составить предсказание погоды.

Чем короче промежуток времени, на который дается предсказание погоды, тем больше вероятность того, что оно будет правильным.

Обычно погоду предсказывают на один или несколько дней. Величина промежутка зависит от того, насколько устойчива наблюдающаяся в данный момент барическая система. Например, мощный, малоподвижный, занимающий большую площадь антициклон обуславливает постоянство погоды на ряд дней. Циклоны создают условия крайней неустойчивости погоды, и предсказание ее становится более трудным. Промежуток времени, на который оно может быть дано, укорачивается.

Для успешного предсказания погоды необходимо, чтобы синоптическая карта давала правильное и детальное представление о состоянии атмосферы в данный момент. Этого можно достигнуть только при условии большой густоты сети метеорологических станций, когда каждый процесс, возникающий, развивающийся или затухающий, находит отражение в показаниях одной или нескольких метеорологических станций и может быть выявлен на синоптической карте.

Если сеть станций недостаточно густая, то возникающий процесс может быть своевременно не замечен и не учтен. От этого резко снижается качество предсказаний погоды.

Важное значение имеет также связь, которая должна обеспечить срочную передачу сведений от метеорологической станции в центральное учреждение, а также предсказаний погоды из центрального учреждения хозяйству.

Запоздавшие телеграммы теряют значение, качество предсказаний резко снижается. Особенно важна надежная связь со станциями, расположенными там, где густота сети мала.

Таким образом, большая густота сети и надежная связь являются технической основой хороших предсказаний погоды.

Кроме сети метеорологических станций, для предсказания погоды организована также сеть аэрологических станций, которые изучают распределение с высотой скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха. На основании данных этих станций составляются различные диаграммы, характеризующие вертикальную устойчивость атмосферы и возможность развития конвективных движений, вычерчиваются карты барической топо-

графий, т. е. карты распределения давления на различных высотах уровней.

Большое значение имеет также подготовка и опыт специалистов, высокая теоретическая подготовка и многолетний опыт специалиста обеспечивают надлежащий анализ состояния атмосферы, учет всех возможных изменений погоды, высокое качество предсказаний.

В каждом хозяйстве должен проводиться учет всех предсказаний погоды и их оправдываемости, а также учет вреда или пользы, оказанных ими производству.

За высокое качество предсказаний погоды должны бороться не только авторы этих предсказаний, но и все, кто заинтересован в них. Только при этих условиях качество предсказаний будет высоким.

### **11. Предсказание погоды по местным признакам**

Особое значение имеют в сельском хозяйстве предсказания погоды по местным признакам на несколько часов вперед. Они составляются на основании местных наблюдений над состоянием небесного свода, облачностью, над изменениями температуры, давления и влажности воздуха, над скоростью и направлением ветра, над оптическими явлениями в атмосфере и другими элементами.

Краткосрочные наблюдения имеют большое практическое значение: они дают возможность решить, какую последовательность сельскохозяйственных работ следует принять в данное время; своевременное предсказание приближающегося дождя дает возможность, например, не допустить намокания зерна, овощей, картофеля, сена и других продуктов, способствовать сохранению урожая.

Местные признаки предстоящей погоды тесно связаны с местными физико-географическими условиями; в соседних районах с иным рельефом и характером подстилающей поверхности, а также с возможным соседством лесных массивов и водоемов группа признаков, которой пользуются для предсказания предстоящей погоды, может быть другой.

Поэтому агроному необходимо детально изучить погодные условия и погодные особенности своего района, используя результаты наблюдений ближайших метеорологических станций, а также материалы, опубликованные гидрометслужбой в справочниках по климату данного района или области.

Агроном должен знать все особенности климата данной местности и микроклимата данного хозяйства, а также местные признаки предстоящей погоды. Предсказания по местным признакам будут более успешными, если пользоваться некоторыми прибо-

рами: барографом, фитопсихрометром, анемометром, флюгером и др.

При предсказаниях погоды по местным признакам следует учесть следующее:

чем медленнее нарастает и усиливается местный признак, тем медленнее будет наступать предвещаемая им погода и тем продолжительнее будет она;

чем быстрее происходит изменение явления, наблюдаемого в качестве местного признака, тем резче наступит предвещаемая им погода, тем резче будет выражен характер ее и тем непродолжительнее она будет;

чем большее число местных признаков указывают согласно на характер предстоящей погоды, тем больше вероятность, что она наступит.

Если различные местные признаки противоречат один другому, можно ожидать неустойчивую погоду.

При последовательном наблюдении местных признаков основное внимание следует обращать на то, как со временем изменяется данный признак. Большой успех предсказания будет в том случае, если в основу положено значение не отдельного мгновенного состояния данного признака, а процесса, который он характеризует. Важно знать, например, не абсолютное значение давления воздуха, а его тенденцию; не мгновенное распределение скорости и направления ветра, а изменение этих величин во времени; не величину ветра, а его изменения, последовательные изменения во времени этих форм и т. д.

Важно знание не состояния атмосферы, а происходящего в ней процесса. Одни и те же частные значения метеорологических элементов в известных пределах могут быть при совершенно различных состояниях атмосферы.

Низкое давление не всегда сопровождается плохой погодой, а быстрое падение давления неизбежно приводит к буре. Поэтому приведенные далее местные признаки предсказания погоды следует рассматривать не как готовые рецепты для предсказания погоды, а как средство к уяснению процессов, происходящих в атмосфере, динамики этих процессов и изменений погоды.

## 12. Местные признаки установившейся хорошей погоды

1. Давление воздуха непрерывно растет или совершает небольшие суточные колебания; изменяется в очень малых пределах.

2. Ночи безоблачные.

3. Утром, около 9—10 час., на высоте 1—1,5 км появляются кучевые облака с плоским основанием, куполообразные, почти неподвижные.

### 13. Признаки приближения и развития грозы

Грозы развиваются, если в атмосфере возникают мощные восходящие движения.

Причинами возникновения восходящих движений, как было выяснено ранее, оказываются или сильное нагревание земной поверхности, или движение воздушной массы по наклонной плоскости вверх, причем этой плоскостью может быть почва, гора, а может быть, и воздушная масса (фронт).

Местные признаки приближения грозы следующие.

1. Давление воздуха быстро падает; при этом, если кривая, вычерчиваемая на барографе, обращена своей выпуклостью вверх, это показывает, что скорость падения давления усиливается, можно ожидать значительного усиления скорости ветра и ухудшения погоды. Если при падении давления выпуклость записанной на барографе кривой обращена книзу, то это означает, что скорость падения давления замедляется и в ближайшие часы можно ожидать изменения погоды к лучшему.

2. Рано утром на небесном своде появляются высококучевые облака, напоминающие рваные хлопья (рис. 59).

3. Иногда в утренние часы могут образоваться вытянутые высококучевые облака; на верхних частях облаков появляются небольшие головки, которые постепенно вырастают в маленькие башенки, напоминающие по форме маленькие кучевые облака (рис. 58); это свидетельствует о неустойчивости атмосферы и возможности развития вертикальных движений.

4. Появляются кучевые облака; их вершины начинают быстро развиваться. Этому содействуют высокая температура и большая влажность воздуха. Вершины имеют куполообразную форму и резко очерчены. К 13—14 час. облака вырастают значительно. Дальнейшее развитие облаков приводит к образованию грандиозных облачных нагромождений — гор.

5. Развитие кучевых облаков приводит к тому, что в верхней части их выбрасываются метлы перистых облаков, состоящих из ледяных кристалликов. Сбоку облако имеет вид наковальни, вершина которой растекается преимущественно в направлении движения ветра; спереди облака имеют вид, показанный на рисунке 68.

6. Процесс развития кучевых облаков заканчивается образованием мощных грозовых облаков и грозой, иногда сопровождаемой градом.

7. Высокая температура воздуха и высокая влажность создают ощущение духоты.

8. После грозы обычно наступает похолодание. Если же похолодания нет и к вечеру остаются высококучевые и слоисто-кучевые облака, заходящее солнце имеет красный цвет, то следует ждать почной грозы.

9. При приближении грозы ветер часто дует навстречу навигающимся грозовым облакам, а затем меняет направление и начинает дуть в направлении движения облаков.

Из сказанного вытекает, что главнейшие местные признаки приближения грозы могут быть получены в результате наблюдений над ходом давления воздуха и над облаками.

#### 14. Признаки приближения ненастной погоды

Поднимающаяся теплая воздушная масса постепенно охлаждается, в ней происходит конденсация водяных паров и образуются облака первых трех классов. Из облаков нижнего яруса, наиболее низких, выпадают малоинтенсивные обложные дожди.

Признаки, по которым можно судить о приближении ненастной погоды, следующие.

1. Давление воздуха непрерывно падает.

2. К месту наблюдения надвигаются высокие перистые облака; они могут иметь форму тонких параллельных полос, заканчивающихся крючками, тонких гусиных перьев или отдельных волокон. Глазом видно движение перистых облаков по небесному своду (в большинстве случаев с запада). Ближе к горизонту перистые облака переходят в перисто-слоистые, которые будут надвигаться вслед за перистыми. Чем быстрее надвигаются перистые облака, тем скорее наступит изменение погоды.

Отдельные перистые облака, не переходящие на горизонте в перисто-слоистые, не являются признаками приближения ненастной погоды.

3. Вслед за перистыми облаками надвигаются высокослоистые облака среднего яруса, имеющие вид равномерной серой пелены, через которую, как сквозь матовое стекло, видны диски солнца или луны с размытыми краями (рис. 61).

4. Непосредственно вслед за облаками среднего яруса надвигаются мощные, темного цвета, низкие слоисто-дождевые облака, сопровождающиеся дождем или снегом.

5. Направление движения облаков, находящихся на различных ярусах, не совпадает с направлением ветра внизу и вследствие трения воздушных масс о земную поверхность отклоняется в правую сторону; чем выше расположение облаков, тем сильнее это отклонение.

6. К ночи ветер не стихает, а даже усиливается.

7. Вследствие увеличения облачности днем наблюдается постепенное понижение температуры.

8. Утренней росы и тумана нет. Охлаждение земли ослаблено вследствие большой облачности, поэтому сильного охлаждения приземного слоя воздуха не будет.

## ОСНОВЫ КЛИМАТОЛОГИИ

## 1. Погода и климат

Погода характеризуется известным сочетанием метеорологических элементов: температуры, влажности, скорости и направления ветра, осадков и др. В каждый момент числовые значения этих элементов являются результатом взаимосвязанных физических процессов, протекающих в атмосфере и в поверхностном слое почвы. Значения метеорологических элементов колеблются в больших пределах. Например, температура воздуха на земном шаре колеблется от  $+60^{\circ}$  до  $-80^{\circ}$ ; относительная влажность колеблется от нескольких процентов до 100% и т. д.

Число сочетаний метеорологических элементов и, следовательно, различных погод может быть очень большим.

В комплексе метеорологических элементов, характеризующих данную погоду, могут быть элементы, которые по тем или иным соображениям обращают на себя особое внимание. По этим элементам иногда называют погоду данного дня или сезона.

Например, бывает погода дождливая, солнечная, ветреная, засушливая, морозная, теплая и т. п. Однако более правильное и точное представление о погоде можно получить, сопоставляя числовые характеристики всех основных элементов, определяющих состояние погоды в данное время.

*Климат определяется совокупностью возможных в данном месте погод, их распределением по временам года, сезонам, периодам, повторяемостью этих погод и последовательностью их появления.*

## 2. Основные факторы климатообразования

На формирование климата данного места решающее влияние оказывают: 1) режим солнечной радиации; 2) характер подстилающей поверхности (суша, вода, растительный или снежный покров и т. п.); 3) общая циркуляция атмосферы; 4) рельеф.

Воздействие указанных факторов на климат взаимосвязано.

*Солнечная радиация* — основной источник энергии всех процессов, протекающих в органической и неорганической природе; это фактор, в значительной степени определяющий действие других факторов.



В области экватора угол падения солнечных лучей в полуденные часы близок к прямому; на единицу земной поверхности поступает максимальное количество солнечной энергии. Чем дальше к северу, тем меньше угол высоты солнца в полуденные часы над горизонтом, тем меньшее количество солнечной энергии получает единица площади земной поверхности (табл. 55).

Таблица 55

Наибольшие высоты солнца в полуденные часы в дни летнего солнцестояния

Широта	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°
Наибольшие высоты солнца	78°	73°	68°	63°	58°	53°	48°	43°

Чем дальше на север, тем меньше угол падения солнечных лучей на земную поверхность в полуденные часы, тем меньшее количество солнечной энергии получает единица площади земной поверхности.

Как было описано в главе о солнечной радиации, на количество ее, достигающее земной поверхности, оказывают влияние также облачность и прозрачность атмосферы.

Особенно большое влияние на формирование климата данной местности оказывает характер подстилающей поверхности, распределение суши и моря.

Территория СССР составляет почти  $\frac{1}{6}$  всей площади материков земного шара. Она расположена в Северном полушарии Европы и Азии между 40-й и 70-й параллелями.

Рельеф страны разнообразный: западная часть до Енисея представляет собой равнину, покатую к северу, перерезанную с севера на юг Уральским хребтом.

За Енисеем к востоку уровень заметно повышается, образуется ряд плато и горных складок, которые постепенно переходят в Саянские горы, Яблоновый и Становой хребты.

В южной части СССР также имеются мощные горные цепи Кавказа, Алтая, Тянь-Шаня. Больших внутриматериковых водоемов нет; наибольшие из них Байкал, Ладожское озеро, Аральское море и отчасти Каспийское море оказывают влияние только на прилегающие районы. Северный Ледовитый и Тихий океаны глубоко в материк не входят. Таким образом, страна представляет собой огромный континент с большим количеством возвышенных плато и горных массивов, не включающий в себя больших водных поверхностей.

Суша обладает меньшей теплоемкостью, чем вода. Кроме того, передаче тепла в воде содействует турбулентное перемешивание. Поэтому летом в дневные часы при положительном радиационном балансе над сушей устанавливаются гораздо более высокие тем-

пературы, чем над водной поверхностью, континент сильно нагревается. В зимние месяцы материк охлаждается быстрее, чем вода. Кроме того, большая часть территории СССР покрыта снежным покровом; поверхность снега охлаждает соприкасающиеся с ним воздушные массы. Поэтому колебания температуры воздуха над материком будут значительно больше, чем над океаном.

Основное отличие так называемого континентального климата от морского заключается в величине годовой амплитуды температурных колебаний. На континентах жаркое лето и холодная зима. Чем дальше в глубь материка, чем удаленнее от водных бассейнов, тем более резкие колебания температуры, т. е. степень континентальности климата усиливается. На побережьях и островах, окруженных большой массой воды, колебания температуры воздуха уменьшаются: лето менее жаркое, зима менее холодная.

Это можно видеть из таблицы 56, где приведены результаты наблюдений в различных пунктах, расположенных на 52-й параллели.

Таблица 56 .

Распределение температуры

Пункт	Восточная долгота (в градусах)	I	VII	Среднегодовая температура	Амплитуда
Варшава	21°	— 4,3	18,5	7,2	22,8
Курск	36°	— 9,9	19,3	5,2	29,2
Оренбург	55°	— 15,4	21,6	3,3	37,0
Пункт в Западной Сибири	80°	— 17,5	22,6	2,9	40,1
Нерчинск	116°	— 30,5	22,7	— 1,7	53,2
Разность Нерчинск — Варшава		26,2	4,2	8,9	30,4

Таблица показывает, что от Варшавы до Нерчинска зимой температура непрерывно понижается, летом повышается; амплитуды от Варшавы до Нерчинска увеличиваются почти в 2,5 раза.

Следует отметить, что в континентальном и морском климате разные значения имеют не только годовые амплитуды температуры, но и суточные; в континентальном климате они больше.

Кроме того, в морском климате относительная влажность воздуха значительно больше, чем в континентальном (особенно летом), а также больше выпадает осадков; максимальное количество их приходится на холодное время года. По мере увеличения континентальности климата количество осадков уменьшается, а в годовом ходе максимум перемещается на теплое время года.

Таким образом, распределение суши и моря служит причиной формирования на одной и той же параллели континентального и

морского климатов. Чем ближе к берегам океанов и морей, тем больше сглаживаются различия в климатах.

Третьим фактором, оказывающим влияние на формирование климата, является общая циркуляция атмосферы.

Ветер переносит большие массы воздуха и оказывает влияние на температуру и влажность воздуха данной местности. Сухие массы воздуха вызывают усиленное испарение с водоемов, а также с поверхности почвы и растений. Иногда ветер несет большие запасы влаги, которые в новых условиях могут конденсироваться и выпадать в виде осадков.

В средних широтах воздушные массы движутся с запада, вследствие чего циклоны идут с запада и орошают территорию, над которой они проходят. С запада на восток количество осадков уменьшается. Зимой в Западной Европе и на европейской территории Союза циклоническая деятельность обуславливает мягкую зиму, частые снегопады, ветры, неустойчивую погоду. В Восточной же Сибири господствует зимний антициклон со слабыми ветрами, малым снежным покровом, сильными морозами. Ветры на периферии антициклона дуют в направлении по часовой стрелке. Холодный континентальный восточно-сибирский ветер дует с северо-запада на побережье Дальневосточного края, обуславливает там холодную несоответственно широте зиму.

Во Владивостоке зима суровая, в то же время в Ялте, которая находится на той же широте, зима мягкая.

Влияние морского воздуха на западном побережье сказывается значительно дальше в глубь материка, чем на восточном побережье.

В летние месяцы муссоны восточного побережья перепосыт с океана на материк большие массы воздуха пониженной температуры, обогащенные водяными парами. В результате на большом расстоянии от берега создаются условия влажной погоды с повышенным количеством осадков.

Климат центральных частей Азии является континентальным именно потому, что туда не пропикают обогащенные водяными парами воздушные массы, идущие с восточных и западных океанов и морей.

Ветер в связи с рельефом местности может создавать мощные вертикальные движения.

Таким образом, общая циркуляция атмосферы оказывает большое влияние на формирование климата.

Как фактор формирования климата особо следует отметить рельеф. Горные страны характеризуются большим разнообразием климатов, изменяющихся на небольших расстояниях как по горизонтали, так и по вертикали.

В горах с высотой увеличивается интенсивность солнечной радиации, так как уменьшается масса атмосферы, через которую проходит солнечный луч, и убывает содержание водяного пара — одного из основных поглотителей солнечной радиации.

Нижние слои атмосферы, характеризующиеся наибольшим содержанием водяного пара, особенно сильно поглощают синие, фиолетовые и ультрафиолетовые лучи. Поэтому на высоких горах радиация особенно богата именно этими лучами.

На горах возрастает эффективное излучение, вследствие чего температура понижается.

Горы оказывают большое влияние на количество осадков. Так, на Крестовом перевале Кавказа, расположенном на высоте 2380 м, годовое количество осадков 1700 мм; при спуске по обе стороны хребта годовое количество осадков уменьшается: в Тбилиси оно равно 525 мм, в Орджоникидзе — 810 мм.

Экспозиция склонов также оказывает большое влияние на климат и ландшафт. Южные склоны получают большее количество света и тепла, чем северные. Состав растительности на северных и южных склонах также различен. Лес и степь на южных склонах идут выше в горы, чем на северных.

Приведенные краткие соображения показывают всю сложность условий, под влиянием которых формируется климат данного места. Все факторы формирования климата — солнечная радиация, распределение суши и моря, общая циркуляция атмосферы — действуют взаимосвязанно, влияние каждого из них в значительной степени определяется остальными.

### 3. Распределение по территории СССР важнейших элементов климата

Прежде чем приступать к характеристике климата отдельных районов, рассмотрим распределение по территории СССР некоторых важнейших элементов климата.

Средняя суточная продолжительность сияния солнца (в час) для различных широт дана в таблице 57.

Таблица 57

Географическая широта	Месяц						среднее
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
30°	12,8	13,6	14,0	13,8	13,2	12,3	13,3
40°	13,2	14,3	14,9	14,6	13,7	12,4	13,8
50°	13,7	15,5	16,3	15,9	14,5	12,6	14,8
60°	14,5	17,7	18,6	17,8	15,5	12,9	16,1
70°	16,0	22,4	24,0	23,7	18,0	13,4	19,6

Распределение температуры воздуха в январе и июле дано на рисунках 121 и 122.

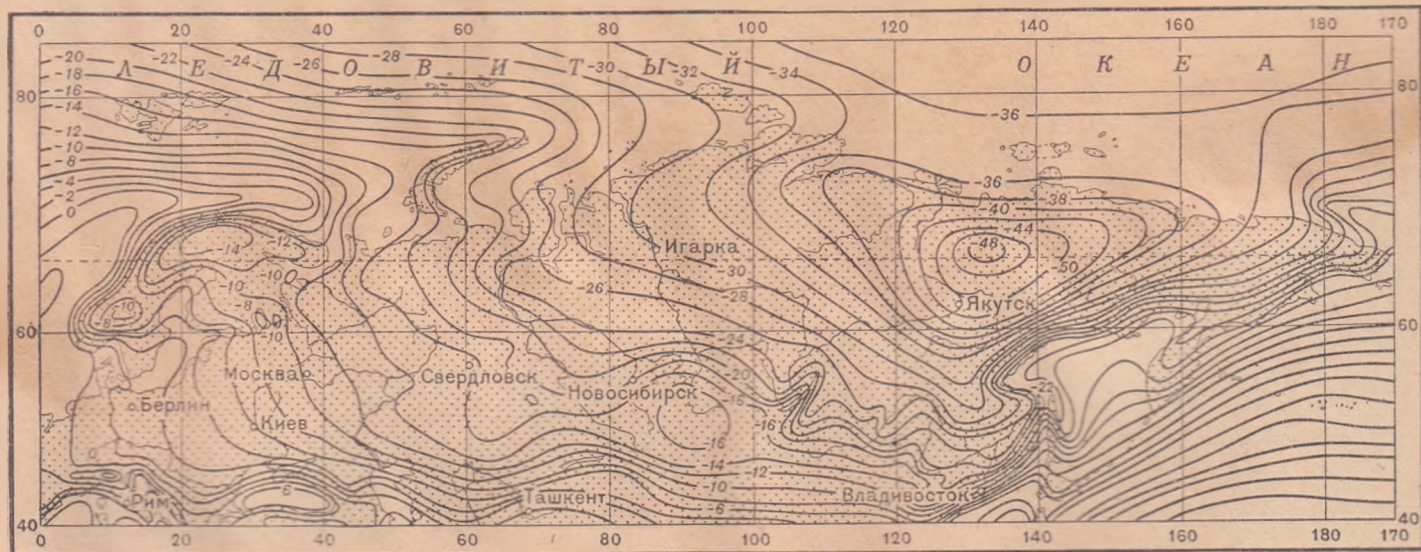


Рис. 121. Исотермы января.

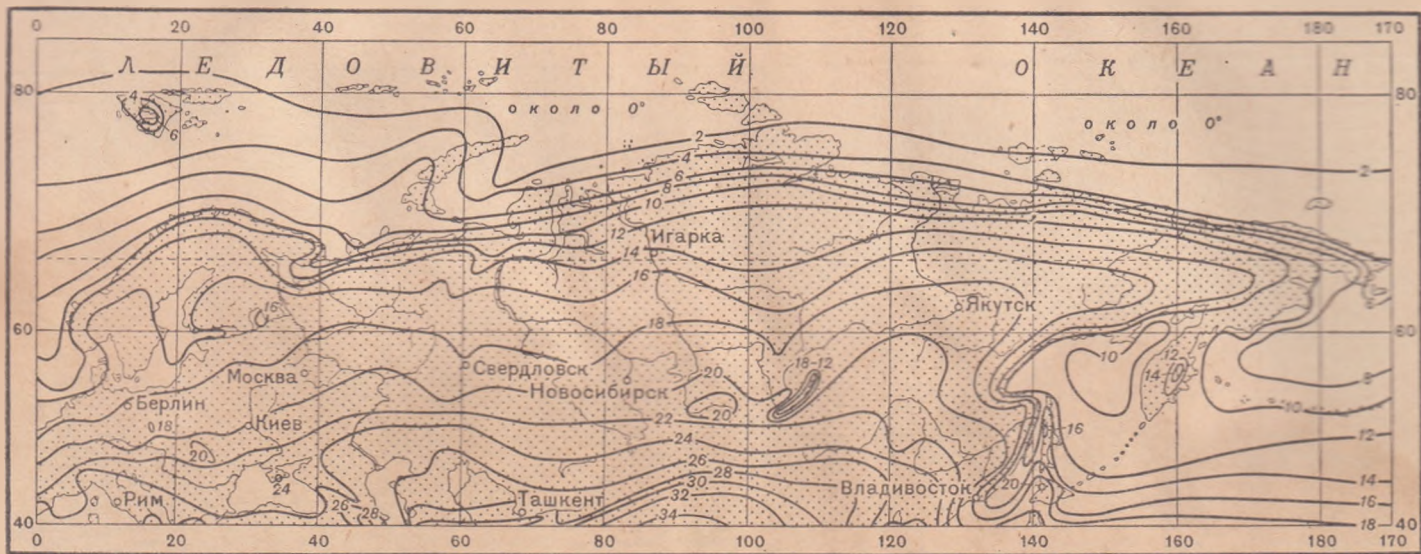


Рис. 122. Изотермы июля.

В январе в северо-восточной части Азии, в районе Верхоянска, устанавливается исключительно низкая температура, в среднем около  $-50^{\circ}$ . Средние январские температуры ниже  $0^{\circ}$  распространяются на большую часть азиатского материка и всю европейскую часть СССР. В направлении к Охотскому и Берингову морю температуры возрастают, изотермы сближены. На южном берегу Камчатки температура поднимается до  $-10^{\circ}$ . Байкал значительно повышает температуру окружающей его области.

В европейской части СССР, на северо-западе, Кольский полуостров находится под воздействием Гольфстрима, благодаря которому Баренцево море на большом расстоянии от берега не замерзает. Изотермы сильно отклоняются от параллелей.

Наиболее низкие температуры до  $-20^{\circ}$  (средняя за январь) наблюдаются на северо-востоке, в бассейне реки Печоры. Отсюда в направлении к юго-западу температура повышается и в районе Одессы достигает  $-2^{\circ}$ . К западу по побережью Черного моря температуры растут. На Южном берегу Крыма температура равна  $4^{\circ}$ . На восточном побережье Черного моря и в Закавказье средняя температура января достигает  $6-7^{\circ}$ .

С весны до августа по всей территории наблюдается общее повышение температуры. Центр минимальных температур около Верхоянска исчезает. Изотермы приобретают положительные значения, располагаются приблизительно по параллелям, а на восточной окраине идут вдоль побережья. Наиболее низкое значение температуры  $2^{\circ}$  идет по побережью Ледовитого океана. К югу температура довольно быстро повышается.

На юге Байкал снова оказывает существенное влияние на температуру, однако теперь он понижает температуру окружающей его области.

В европейской части СССР температура также повышается с севера на юг и достигает  $25^{\circ}$ , в Средней Азии  $32^{\circ}$ .

Следует помнить, что приведенные карты распределения температур составлены для уровня моря.

С распределением температуры тесно связано распределение давления воздуха, а также скорости и направления ветра.

В январе наиболее высокое давление наблюдается над Центральной Азией и достигает 780 мм (1039,9 мб). Этот мощный антициклон, занимающий всю центральную часть Азии, дает два отрога высокого давления: один из них идет вдоль 50-й параллели в направлении на европейскую территорию СССР, другой — на северо-восток Сибири через Якутию и Чукотский полуостров. Европейский отрог высокого давления к северу от него создает ветры юго-западного направления, которые дуют на европейской территории СССР, в Западной Сибири и в северной части Средней Азии.

К югу от отрога высокого давления господствуют ветры северо-восточных и восточных направлений.

В Восточной Сибири, севернее отрога высокого давления, наблюдаются ветры южных и юго-западных направлений; южнее отрога высокого давления — ветры северных направлений.

В летнее время над азиатской частью СССР располагается область пониженного давления, поэтому на европейской территории СССР преобладают ветры северо-западных и западных направлений.

На побережье Японского и Охотского морей наблюдаются муссоны, определяющие климат прибрежных областей Приамурья, а также Сахалина и Камчатки.

В зимние месяцы скорость ветров, дующих по гладкой снеговой поверхности, выше, чем летом. Кроме того, зимой горизонтальные барические градиенты имеют большие значения, чем летом.

Наибольшая облачность наблюдается в северо-западной части СССР. Отсюда она убывает к юго-востоку.

Число ясных дней за год на крайнем северо-западе меньше 20; в Туркмении число их достигает 180. Число пасмурных дней у побережья Белого моря — до 200; в Туркмении оно понижается до 60.

Высокая облачность наблюдается у берегов Тихого океана. Она создается муссонами, которые в летнее время приносят влажные массы воздуха с Тихого океана.

Распределение осадков по стране зависит главным образом от направления воздушных течений, содержания в воздухе водяных паров, а также от всех факторов, определяющих возникновение и развитие вертикальных движений в атмосфере. Вертикальные движения в атмосфере развиваются: 1) в случае сильного нагревания земной поверхности, 2) в циклонах, 3) при поднятии на возвышения земной поверхности, на горы.

Осадки первого типа называются конвективными; они характерны для экваториальной зоны, в которой развиваются систематические и сильные вертикальные токи, наблюдаются сильные дожди с грозами. Число грозовых дней в экваториальных странах достигает 150. Во внетропических областях дожди подобного происхождения характерны для континентальных стран.

Циклопальные осадки свойственны преимущественно умеренным широтам.

Осадки, вызванные рельефом, их количество и интенсивность зависят от расположения горных цепей, их высоты, направления воздушных потоков, их повгоряемости и содержания в воздухе водяных паров.

Около каждой горной цепи количество осадков больше, чем в прилегающих равнинных местностях, причем с наветренной стороны осадков выпадает больше, чем с подветренной.

Увеличенное количество осадков наблюдается на наветренных склонах Крымских и особенно Кавказских гор. Наибольшее количество осадков в СССР наблюдается у восточного побережья Черного моря, где оно достигает 2500 мм в год.



В средних широтах годовое количество осадков колеблется от 160 до 650 мм. Наименьшее количество осадков выпадает на юго-востоке, на побережье Каспийского моря (Астрахань, Гурьев), а также на северо-востоке (Мезень). Число дней с осадками достигает 30. В центре и к западу количество осадков увеличивается (в Смоленской и Могилевской области свыше 600 мм). Число дней с осадками 160.

Сибирь вообще бедна осадками, в средней части ее осадков выпадает от 300 до 400 мм. На северном побережье выпадает меньше 200 мм. В Арало-Каспийских степях количество осадков очень мало; к югу от Аральского моря оно меньше 100 мм. Наибольшее количество осадков наблюдается на восточном побережье, на берегах Тихого океана, на берегу Охотского моря и на юге Камчатки. Количество осадков достигает здесь 1000 мм в год.

Для большей части СССР минимальное количество осадков приходится на январь — март. Однако в Крыму и Туркмении минимум осадков наблюдается летом, на Кавказском побережье минимум осадков весной.

Примерно половина всех осадков выпадает в виде снега.

Снежный покров имеет значительную мощность и постоянство только в северной половине СССР и удерживается там 160—200 и более дней.

Южнее Курска снежный покров неустойчив. На юго-востоке наблюдаются сильные морозы при отсутствии снежного покрова.

Снежный покров в Крыму лежит не более 20 дней.

#### 4. Микроклимат

Климатические условия, общие для больших территорий в приземном слое воздуха, не остаются неизменными; вблизи поверхности почвы, в зависимости от свойств ее и рельефа, климатические условия могут быть самыми разнообразными.

Различные почвенно-грунтовые условия, характер растительного покрова, экспозиция различных склонов, состояние поверхности почвы, форма рельефа могут создавать в приземном слое воздуха особые местные условия температуры, влажности, скорости ветра и т. п., резко отличающиеся от общеклиматических.

*Эти особенности климата на малых площадях и в малых объемах в приземном слое воздуха характеризуют микроклимат местности.*

Выше при изучении отдельных метеорологических элементов были рассмотрены особенности распределения каждого из них в приземном слое воздуха.

Здесь дается краткая сводка микроклиматических особенностей приземного слоя.

Температура в приземном слое воздуха колеблется в гораздо больших пределах, чем в свободной атмосфере, то же относится и к влажности воздуха. Ветер вследствие трения о земную поверхность и в приземном слое резко снижает свою скорость, которая может достигать нуля.

Резкие колебания испытывает также температура почвы.

Вертикальные градиенты температуры в приземном слое воздуха могут в сотни раз превышать градиенты в свободной атмосфере.

Существенное значение имеет рельеф местности. Поверхности различного наклона и ориентировки имеют разный солнечный режим. В то время как одна из них освещается солнцем, другая может оказаться в тени.

Количество солнечной радиации, падающей на единицу облучаемой поверхности, зависит от ее экспозиции. Следовательно, поверхности разного наклона и ориентировки имеют разный режим температуры, влажности, ветра. Резкие переходы от одних условий к другим могут совершаться на малых расстояниях.

Существенное значение имеет форма рельефа. В замкнутых долинах воздух соприкасается с большей поверхностью земли и в дневные часы сильнее нагревается. На вершинах холмов и возвышенностей температура приземных слоев воздуха вследствие частой смены воздушных масс ближе подходит к температуре воздуха свободной атмосферы. От рельефа зависит также величина стока и испарения с поверхности почвы, а следовательно, и величина ее увлажнения.

В поймах рек летом среднесуточные температуры воздуха примерно на  $1^{\circ}$  выше, чем на высоком берегу; относительная влажность выше на 10%. В зимнее время в поймы сползает снег с прилегающих возвышенностей. Это способствует меньшему промерзанию почвы.

Болотные почвы вследствие большого содержания воды днем прогреваются меньше, а ночью охлаждаются больше, чем сухие места. Глубина промерзания болотных почв невелика. Над болотными почвами чаще образуются туманы. Воздух над болотом содержит много водяного пара.

Песчаная почва также имеет свои микроклиматические особенности. Песок содержит в себе значительные количества воздуха. Поэтому нагретая поверхность песчаной почвы с трудом передает свое тепло вглубь. Создаются большие вертикальные градиенты; температура с глубиной быстро понижается.

Существенное влияние на микроклимат поверхностного слоя почвы оказывает снежный покров, который резко изменяет температурный режим почв и прилегающего слоя воздуха, а также режим влажности почвы.

Растительность на полях создает слой с особым климатом среди растений, характерным для данной культуры.

Микроклиматические особенности создаются также на орошаемых участках, среди лесных полос, на лесных полянах, на открытом поле и т. д.

На микроклимат приземного слоя большое влияние оказывают также агротехнические приемы, которые могут изменять тепловой и водный режим поля. Поэтому изучение приземного слоя воздуха и поверхностного слоя почвы, т. е. изучение микроклимата, является одной из важнейших задач сельскохозяйственной метеорологии.

В условиях сельского хозяйства можно говорить о микроклимате не только различных участков поля или леса, но и о микроклимате помещений для скота. Продуктивность крупного рогатого скота в значительной степени зависит от условий стойлового содержания, температуры внутри коровника, влажности воздуха, чистоты воздуха, освещенности и пр.

При постройке ферм животным необходимо обеспечить надлежащие гигиенические условия содержания; от этого в значительной мере зависит здоровье животных и их продуктивность.

## 5. Классификация климатов

Количество климатов очень велико, поэтому уже давно были сделаны попытки классифицировать их, разбить на однородные группы, выделить климаты с резко различными свойствами, изучить распределение этих групп по земной поверхности и т. д. В основу такой классификации авторы пытались ставить разнообразные признаки.

Были попытки, например, положить в основу классификации климатов распределение средних температур самого теплого и холодного месяца, среднегодовых температур, количеств выпадающих осадков, распределение температуры и относительной влажности.

Очевидно, такие попытки не могут иметь большого значения, так как в основу подобных классификаций берется распределение не климатов во всем их многообразии и во всей их сложности, а распределение отдельных составляющих климата, взятых изолированно одна от другой по многолетним данным.

Рациональные пути к решению вопроса о классификации климатов были указаны В. В. Докучаевым, Л. С. Бергом, Б. П. Алисовым и Е. Е. Федоровым.

В. В. Докучаев впервые отметил тесную связь климата с географическим ландшафтом. Изучая почву во взаимодействии с другими элементами природы, В. В. Докучаев установил тесное взаимное взаимодействие между водой, воздухом и землей, с одной стороны, растительными и животными организмами — с другой; при этом важную роль имеет продолжительность этого взаимо-



Рис. 123. Климаты СССР (по Бергу).

действию. Докучаев первый попытался выделить географические зоны, которые характеризуются развитием почв, процессами выветривания, характером растительности, рельефом и климатом.

И. С. Берг применил идеи В. В. Докучаева для классификации климатов. Он связал климатические зоны с географическими ландшафтами, описал климаты различных реально существующих географических ландшафтов (рис. 123).

Б. П. Алисов попытался дать классификацию климатов по тем причинам, которые обусловили тот или иной климат. Поэтому классификация Б. П. Алисова названа им генетической. В основу этой классификации положены преобладающие в данной области географические типы воздушных масс, которые определяют характер погоды, а также положение главных фронтальных зон.

Приведем по Бергу некоторые типы климатов, имеющихся в пределах СССР.

**Климат тундры.** Наблюдается на Крайнем Севере Европы и Азии, а также на многих островах Арктического бассейна. Южная граница тундры проходит по северной границе распространения леса, совпадает с изотермой самого теплого месяца  $10-12^{\circ}$ . Тундра безлесна. Климат тундры холодный; зимой температуры в Сибирской тундре достигают минус  $50-55^{\circ}$ . Самый теплый месяц в году имеет температуру не выше  $10-12^{\circ}$ .

Снег, иней и заморозки могут быть в течение всего летнего периода. Содержание водяного пара в атмосфере (абсолютная влажность) невелико. Относительная влажность вследствие низкой температуры близка к насыщению. Облачность велика, особенно осенью. Часто наблюдаются туманы.

Количество выпадающих осадков за год  $150-300$  мм. Наибольшее количество осадков наблюдается в августе — сентябре, наименьшее — в феврале — марте. Интенсивность осадков мала. В зимнее время высота снежного покрова невелика; часто наблюдаются метели.

Земля находится в вечно замерзшем состоянии; в летние месяцы почва оттаивает на глубину не более  $1-2$  м. Скорость ветра в прибрежных районах значительна, среднегодовая достигает  $7-8$  м/сек.

В теплое время года благодаря незаходящему солнцу освещенность продолжительная. Малая абсолютная влажность содействует значительному содержанию в солнечной радиации ультрафиолетовых лучей.

Продолжительность вегетационного периода не более  $2-3$  месяцев.

**Климат тайги.** Тайга представляет собой хвойный лес, состоящий из сосны, ели, лиственницы, кедра, ели, иногда с примесью лиственных пород: березы, осины, тополя, ольхи. Огромные массивы такого леса распространяются от Скандинавии до Охотского моря. Северная граница тайги идет по южной границе

тундры. Южная граница тайги идет приблизительно по линии Ленинград — Горький — Свердловск — Новосибирск, далее Западная Сибирь, кроме южных ее районов, Восточная Сибирь, за исключением Среднего Амура и Уссурийского края, Камчатка и северная часть Сахалина.

Лето теплое, температура до 20°. Зимы суровые: климат континентальный. Годовая амплитуда температуры больше 10°.

Континентальность климата достигает крайнего выражения по среднему течению Лены под 62° с. ш. Летом здесь температура выше 30°, зимой морозы ниже — 60°. Облачность малая, солнечной радиации много. Атмосферных осадков выпадает меньше 200 мм. В результате среди тайги образуются степные пространства, покрытые ковылем, тишцом и другой ксерофитной растительностью.

Климат тайги формируется под воздействием морского и континентального воздуха умеренных широт, а также под влиянием арктического воздуха и в летние месяцы под влиянием континентального тропического воздуха; в восточной части на климат тайги оказывают влияние муссоны. Летом температура воздуха может быть выше 35°. Средняя температура июля 10—12°.

Количество выпадающих осадков за год от 300 до 600 мм. Максимальное количество осадков выпадает в летние месяцы. Снежный покров в восточной части тайги очень мал, недостаточен для защиты почвы от промерзания. В зоне тайги, несмотря на суровые условия погоды, возделываются культуры: рожь, пшеница, овес, ячмень, лен, картофель, а также овощные культуры.

Климат зоны лиственных лесов (умеренная зона). Этот тип климата охватывает зону к югу от линии Ленинград — Горький до южных пределов лесостепья, распространяется на Прибалтийские республики и Белоруссию, далее к востоку за Уралом распространяется по всей южной части Западной Сибири, охватывает Минусинские степи, среднюю часть Амура, Уссурийский край, Южный Сахалин.

Климат зоны лиственных лесов отличается меньшей континентальностью, чем климат тайги. Зима мягкая; лето более теплое. Средняя температура летних месяцев не превышает 22°. В западной части, где преобладают морские воздушные массы, развивается циклоническая деятельность; зима мягкая; самые низкие температуры лишь немного ниже 0°. Годовая амплитуда температуры не превышает 25°. Годовое количество осадков 500—600 мм, они приблизительно равномерно распределяются в течение всего года.

В Восточной Европе и в Сибири, где господствует континентальная масса воздуха, наблюдается холодная зима; годовая амплитуда температуры увеличивается. Количество осадков остается прежним — 500—600 мм, но распределение их по временам года

другое: максимум осадков приходится на летние месяцы. Снег выпадает по всей территории, однако в южных областях снежный покров неустойчив. В зоне климата лиственных лесов возделываются зерновые культуры, лен, картофель. В южных районах возделываются кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла, широко развито плодоводство.

На среднем Амуре и в Уссурийском крае климат муссонного типа. С апреля по ноябрь выпадает до 95% годовых осадков. С декабря по март количество выпадающих осадков очень мало. Малоснежная зима способствует глубокому промерзанию почвы.

Климат степей охватывает южную полосу европейской территории СССР, Среднее Поволжье, Северный Кавказ, Северный Казахстан, Забайкалье. Средняя температура наиболее теплого месяца достигает 25°. В отдельные дни наблюдаются очень высокие температуры и низкие значения относительной влажности.

В южнорусских степях нередки сухие юго-восточные и восточные сушевы; скорость их достигает 16 м/сек; относительная влажность понижается до 15% и ниже. Сушевы часто сопровождаются сухими, пыльными туманами. Годовая сумма осадков не превышает 200—450 мм. Высота снежного покрова не превышает 20 см на западе и 30 см на востоке. На побережье Черного и Азовского морей максимальная высота снежного покрова не превышает 10 см.

Климат степей Зауралья отличается большей континентальностью.

В степной зоне возделывают озимую и яровую пшеницу, подсолнечник, кукурузу, просо, хлопчатник, сахарную свеклу и другие культуры.

**Средиземноморский климат.** В пределах Советского Союза такой тип климата на Южном берегу Крыма и на западном Черноморском побережье Кавказа от Новороссийска до Джубги.

Лето жаркое и сухое. Средняя температура самого теплого месяца 22—28°. Количество осадков 300—500 мм, в горах больше. Морозы бывают до —15° преимущественно в январе и феврале. Морозных дней за год до 30—40. Лето и осень отличаются большим числом часов солнечного сияния. В этой зоне растут кипарисы, лавры, магнолии, глицинии, веерные пальмы, оливковое дерево, инжир и другие южные деревья и культуры.

**Климат штиропических пустынь.** Этот тип климата охватывает Тарско-Кумекую и Астраханскую полупустыни, а также среднеазиатские пустыни и полупустыни.

В этих областях лето очень жаркое, средняя июльская температура 26—30°. Абсолютный максимум температуры достигает 50° и выше. Зимой наблюдаются низкие температуры. В Тал-

кенте наблюдались морозы до 28°, а в Казалинске до 33°. Средние температуры зимних месяцев достигают — 10°.

Выпадающих осадков очень мало. На южной окраине Туркмении отсутствие осадков наблюдается иногда в течение нескольких лет. В остальных местах годовое количество осадков меньше 200 мм; максимум их выпадает весной. В Ташкенте осадков несколько больше.

В этой зоне благоприятные условия для разведения теплолюбивых сельскохозяйственных культур.

Таково в общих чертах распределение климатов по СССР.

Перейдем теперь к более детальному рассмотрению климатов отдельных районов и областей.

## 6. Различные способы характеристики климата

Для характеристики климата данной местности применяют два разных приема.

Первый заключается в том, что *климат характеризуют значениями отдельно взятых метеорологических элементов*. Например, для характеристики климата приводят среднесуточные и среднегодовые температуры воздуха, повторяемость температур в различные годы или периоды, амплитуды колебаний, суточный и годовой ход и другие комбинации отдельных значений температур.

Подобную же серию характеристик вычисляют для влажности воздуха, температуры почвы, осадков и для других элементов.

На основании полученных чисел составляют справочники, вычерчивают атласы.

Например, «Климатический справочник по СССР», изданный гидрометеорологической службой, содержит среднemesячные, максимальные и минимальные температуры, даты наступления известных температур, число дней с указанной среднесуточной температурой, даты наступления и прекращения морозов, вероятность ветров различной скорости, среднemesячное количество осадков, высоту снежного покрова, среднemesячную абсолютную и относительную влажность, облачность, сияние солнца и другие данные.

В последние годы подобные справочники были опубликованы гидрометеорологическими управлениями ряда областей и краев Советского Союза. *Все они составлены по методам климатологии отдельных элементов.*

Справочники и атласы, составленные на основании результатов наблюдений сети метеорологических станций, — основные источники сведений о погоде и климате. Кроме справочников, содержащих многолетние средние величины, в настоящее время издаются справочники метеорологических данных за отдельные годы. Сведения, полученные из таких справочников, могут быть



использованы в сельском хозяйстве для учета конкретных условий погоды того или иного года.

Второй способ описания климата был разработан в Институте географии Академии наук СССР. Это так называемый *метод комплексной климатологии*. Автор этого метода Е. Е. Федоров.

*Организм взаимодействует не с отдельными элементами внешней среды, а с комплексом их.* Воздействие каждого элемента на организм в значительной мере зависит от значений других элементов комплекса. Так, низкая отрицательная температура воспринимается человеком и животным по-разному, в зависимости от наличия или отсутствия ветра. Даже небольшие морозы, сопровождаемые ветром, переносятся с трудом.

Действие высокой температуры также различно в зависимости от соответствующих значений относительной влажности и ветра. Если влажность высока и ветра нет, то растение переносит высокую температуру хорошо, человек и животное — с трудом; ветер ослабляет влияние высокой температуры.

Если же относительная влажность мала, то человек и животное легко переносят высокую температуру, растение, наоборот, с трудом переносит такой комплекс, особенно при ветре (суховей), который вызывает сильное испарение с поверхности растения и нередко приводит его к гибели.

Поэтому описание отдельных элементов климата: температуры, влажности, скорости ветра и др., взятых в отдельности по многолетним средним, не может служить достаточной характеристикой климата среды, во взаимодействии с которой растет и развивается растение.

Для характеристики климата данной местности не так важно, сколько раз за известный период повторялись, например, дни с высокой температурой, с малой влажностью, с ветром, а важно, сколько было дней, в которые наблюдались одновременно высокая температура, малая влажность и ветер, т. е. важно, сколько дней было с суховеем.

Поэтому комплексная климатология принципиально отличается от климатологии, изучающей отдельные метеорологические элементы.

Единицы, в которых комплексная климатология описывает климат данной местности, — это не обычно применяемые единицы: градус, грамм, миллибар и др., а сочетание одновременно наблюдаемых метеорологических элементов, т. е. погода одного дня или одних суток.

Комплексная климатология не разделяет сложное явление погоды на отдельные элементы, а стремится изучать погоду как целое.

Отсюда, конечно, не следует, что с развитием комплексной климатологии теряет значение климатология отдельных элементов.

Наиболее совершенное описание климата — сочетание обоих методов. Особое значение имеет изучение повторяемости различных классов погод. При этом в содержание комплекса могут входить также температура почвы, влажность почвы и другие элементы, влияющие на рост и развитие культур.

## 7. Комплексная характеристика погоды

При составлении комплексной характеристики погоды можно пользоваться не единичными одновременными измерениями отдельных метеорологических элементов, а среднесуточными величинами.

Погоды, мало отличающиеся одна от другой, например на 1° температуры или на 3% относительной влажности, практически одинаково воздействуют на животный или растительный организм; поэтому близкие между собой погоды целесообразно объединять в группы. Для этого необходимо разбить возможные значения каждого метеорологического элемента на известные градации; размер их может быть произвольным.

Например, для температуры можно установить следующие градации: к 1-й группе относятся температуры от 0 до +2°,4; 2-й — от 0 до -2°,4; 3-й — от 2,5 до 7°,5; 4-й — от 7,6 до 12°,5, и т. д. Таким образом, комплексы с температурами 8, 9, 10, 11 и 12° будут отнесены к 4-й группе.

*Эти градации, конечно, условны и могут быть изменены в зависимости от поставленной задачи.*

Например, при изучении заморозков градации должны быть гораздо более мелкими; вместо среднесуточных величин должны быть взяты отдельные отчеты.

Для сельского хозяйства Е. Е. Федоров применял следующие градации метеорологических факторов.

*Температура воздуха:* от 0 до +2°,4; от 0 до -2°,4; от 2,5 до 32°,4, через каждые 5°; от 32,5 до 52°,4 через каждые 10°.

*Суточная амплитуда колебаний температуры:* от 0° через каждые 5°.

*Изменение температуры от одних суток к следующим:* от 0 до +5° и от 0 до -5°.

*Относительная влажность:* от 0 до 20%; от 21 до 40% и т. д. через каждые 20%.

*Облачность:* от 0 до 2 баллов; от 2 до 6 баллов; от 6 до 10 баллов.

*Осадки:* от 0 до 2,4 мм; от 2,5 до 4,9 мм; от 5,0 до 9,9 мм; от 10,0 до 19,9 мм; от 20,0 до 39,9 мм и т. д.

*Время выпадения осадков:* до полудня, после полудня, полные сутки.

*Скорость ветра:* от 0 до 2 м/сек; от 2 до 5 м/сек; от 5 до 10 м/сек; от 10 до 18 м/сек; свыше 18 м/сек.

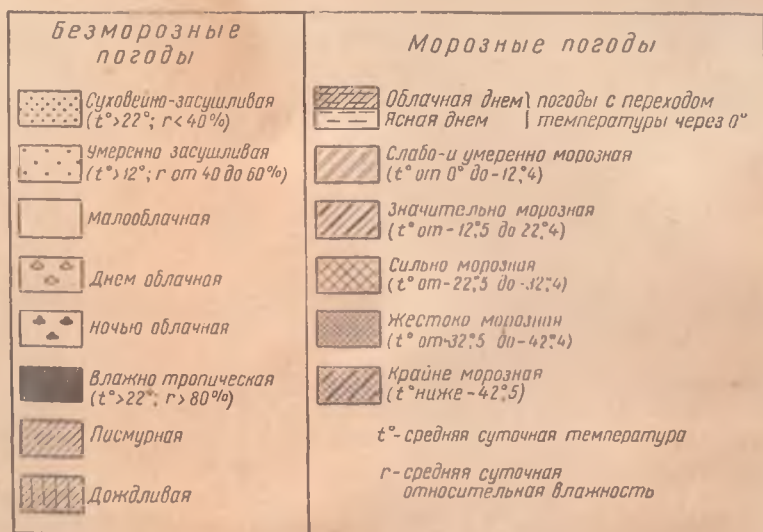


Рис. 124. Условные обозначения комплексной климатологии.

**Направление ветра:** румбы через каждые  $22^{\circ},5$ , от 0 до  $360^{\circ}$ .

Установив градации, можно для любой погоды составить соответствующий комплекс и отнести ее к тому или иному классу.

Для удобства дальнейшей обработки составляют карточный каталог наблюдавшихся погод. На каждый день, т. е. на каждую погоду, составляется одна карточка.

Повторяемость определенного класса погоды за известный промежуток времени можно определить, подсчитав число соответствующих карточек.

Раскладывают и подсчитывают карточки счетные машины.

Каждому классу погоды можно дать наименование по какому-либо из главных признаков. На рисунке 124 дан перечень основных классов погод и их графическое изображение. Около названия погоды даны числа среднесуточной температуры ( $t$ ) и среднесуточной относительной влажности ( $r$ ). Пример составления графика распределения различных классов погод приведен на странице 332.

## 8. Основные черты климата различных областей СССР

Рассмотрим кратко главнейшие черты климата различных областей СССР.

Для производственного использования данных климатологии их необходимо изучать в определенном разрезе по специальным

монографиям, а также по климатическим справочникам, изданным гидрометслужбой для всех областей Советского Союза.

В дальнейшем порядок рассмотрения климата отдельных районов соответствует описаниям Е. Е. Федорова, составленным по методам комплексной климатологии.

## 9. Кольский полуостров

Климат Кольского полуострова формируется под сильным воздействием не замерзающего в южной части и согреваемого Гольфстримом Баренцева моря. Зима здесь мягкая. Средняя температура января в Териберке (берег Баренцева моря) —  $8^{\circ},4$ . Такие температуры наблюдаются в это время в Харьковской области. Изотермы в январе идут, пересекая параллели с северо-северо-запада на юго-юго-восток.

Такое сильное повышение температуры Кольского полуострова в конечном счете есть результат воздействия Гольфстрима. Средняя температура июля  $10^{\circ},7$ .

Дальше в глубь материка температура зимой понижается, летом повышается. В этом можно убедиться, если сравнить температуры в Териберке и Кировске, расположенном почти в средней части Кольского полуострова (табл. 58).

Таблица 58

Среднемесячные температуры

	Январь	Июль	Амплитуда
Кировск	$-13^{\circ},3$	$13^{\circ},6$	$26^{\circ},9$
Териберка	$-8^{\circ},4$	$10^{\circ},7$	$19^{\circ},1$
Разность	$4^{\circ},9$	$2^{\circ},9$	$7^{\circ},8$

Из таблицы видно, что в центре Кольского полуострова зима более суровая, лето более жаркое; годовое колебание температуры воздуха почти на  $8^{\circ}$  выше. Количество солнечных дней увеличивается. Климат более континентальный. В связи с этим тундровый ландшафт побережья к середине полуострова сменяется лесом, которым покрыта большая часть полуострова.

В результате больших разностей температур охлажденного материка и теплого моря ветры в зимнее время в прибрежных частях имеют значительную скорость, достигающую 6—

10 м/сек. Преобладающее направление ветров южное и юго-западное.

В летнее время ветер дует с моря на прогретую сушу; направление ветров северное; скорости небольшие — от 2 до 5 м/сек. Эти морские ветры несут с собой значительные количества водяных паров и создают на материке повышенную влажность до 70% и выше. Сумма выпадающих осадков около 400 мм; большая часть их выпадает в летние месяцы.

Частые дожди и недостаток тепла создают на полуострове не вполне благоприятные условия для растительности.

Здесь возделывают скороспелые овощные и кормовые культуры, а также картофель.

Таблица 59

Повторяемость различных классов погод (в %)

Прибрежная полоса Кольского полуострова

Классе погод	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Умеренно засушливая						2	4	4				
Малооблачная				6	9	20	22	18	17	6		
Облачный днем												
без осадков				4	7	14	10	12	11	5	1	1
с осадками				2	3	6	7	7	6	2		
Облачная ночью												
без осадков			1	5	6	13	11	10	4	1		
с осадками				1	1	3	3	4	3	1		
Пасмурный				7	16	21	22	22	24	17	4	3
Дождливая				4	9	16	21	23	24	10	2	
Погода с переходом температуры через 0°												
облачный день	6	4	11	25	36	4			2	24	25	19
ясный день	5	3	12	23	12	1			3	14	8	5
Слабо морозная	1	3	1	3	1					2	9	7
Умеренно морозная												
без ветра	5	6	7	3						2	5	7
с ветром	52	50	54	16						13	39	45
Значительно морозная												
без ветра	4	2	4								1	2
с ветром	23	28	10	1							5	11
Сильно морозная с ветром	4	4										

Распределение различных классов погод в прибрежной полосе полуострова дано в таблице 59. По этим данным в январе и феврале морозы большей частью умеренные. Примерно 80% всех дней дует ветер. В марте еще сохраняется 54% умеренно мороз-

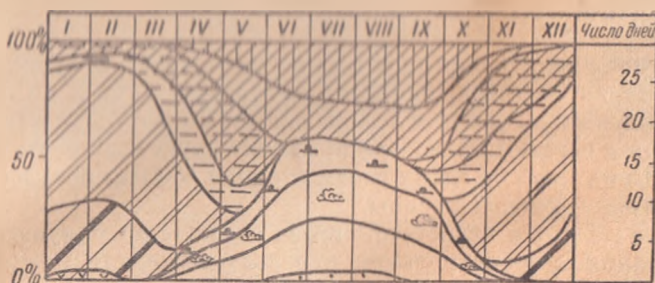


Рис. 125. График распределения различных классов погод.

ных дней; в апреле число ветреных дней сократилось; появились ясные дни с положительными температурами в дневные часы (48%).

В апреле и мае наблюдается также дождливая и пасмурная погода (11 и 25%). В летние месяцы, особенно в августе и в сентябре, возрастает число дождливых и пасмурных дней: в августе 45%, в сентябре 48%. С июня до сентября число малооблачных дней значительно — 17—22%; с октября число их резко падает.

Октябрь, ноябрь и декабрь характеризуются резким увеличением дней с переходами через  $0^{\circ}$  и с морозами.

Приведенная таблица допускает гораздо более подробный анализ погодных условий. Но этой же таблице можно проследить, как в течение года изменяется тот или иной класс погоды, например морозной, ветреной, засушливой, солнечной, дождливой и др.

В таблице пропущены те классы погоды, которые в данном месте в течение года не встречаются или встречаются один раз в несколько лет.

Распределение различных классов погод можно изобразить также графически (рис. 125). Для этого пользуются условными обозначениями, показанными на рисунке 124.

На вертикальных линиях (рис. 125), проходящих через соответствующие точки — месяцы, откладываются одно за другим числа — проценты повторяемости (табл. 59) наблюдавшихся в данном месяце классов погод; для каждой вертикали в сумме они дают 100%. Порядок нанесения различных классов погод на всех вертикалях должен быть один и тот же.

Затем точки, ограничивающие данный класс погоды, соединяют непрерывными плавными линиями; площадь между ними заштриховывают условными обозначениями.

В результате получится график распределения различных классов погод, показанный на рисунке 125.

Полученный график наглядно показывает распределение погод в данном месте и может быть использован для детального описа-

ния погодных условий каждого месяца и их изменений по времени.

В дальнейшем изложении даются таблицы распределения погод для ряда пунктов. По данным этих таблиц можно построить график структуры погод в данном месте и дать подробный анализ климатических условий данного района.

## 10. Карелия

Карелия занимает северо-западную часть лесного массива, простирающегося через всю северную часть Европы. Территория Карелии достигает Полярного круга и располагается между 62° и 67° с. ш.

В северной части наблюдается незаходящее солнце. По всей территории в течение летнего периода наблюдаются «белые ночи», сумерки продолжаются всю ночь. Высота солнца летом достигает 52°. В зимние месяцы высота солнца не более 5°.

Территория покрыта лесом, многочисленными озерами; много заболоченных участков. Карелия находится под преобладающим влиянием морской полярной воздушной массы.

Зимний период продолжается с ноября до середины марта. Вследствие влияния теплого Баренцева моря и близости Атлантики больших морозов не бывает. На протяжении всей зимы преобладают умеренно морозные погоды с морозами до 12°. Сильно морозная погода наблюдается редко. Толщина снежного покрова в южной части Карелии достигает 50—60 см.

Весна начинается в середине марта и продолжается до начала июня, когда кончаются последние ночные морозы. Весной морозы чередуются с оттепелями. Во вторую половину весны развивается растительность, цветут травы и кустарники. В мае — июне вскрываются озера. Изредка наблюдается засушливая погода, указывающая на приближение лета.

Лето начинается со второй декады июня и продолжается до сентября, т. е. длится немного более 2½ месяцев; лето отличается значительным числом дней с дождливой и пасмурной погодой. В июне и июле часто бывает малооблачная погода. Среднесуточная температура не превышает 17°. Ночи прохладные; засушливые погоды бывают редко. В конце лета и в начале осени увеличивается число дней с туманом. В отдельные годы характер лета может резко изменяться в зависимости от преобладающего воздействия воздушных масс с севера, запада или юга.

Осень начинается с сентября и продолжается до установления снежного покрова, т. е. до начала ноября. Уже в начале сентября бывают ночные морозы. Количество морозных дней в октябре увеличивается и достигает 30—35% всех дней. Число дней с малооблачной безморозной погодой резко снижается.

В Карелии широко развито земледелие. Возделываются скороспелые сорта яровых зерновых культур, а также картофель и различные овощные культуры. Широко развито парниковое и тепличное хозяйство.

### **11. Северо-восточная часть европейской территории СССР**

В более восточных районах — Архангельская область и Коми АССР — зимы более холодные, так как эти районы находятся под влиянием частых вхождений арктического континентального воздуха. Средняя температура января минус 15—20°. Толщина снежного покрова достигает 80 см. В летние месяцы температуры более высокие, чем в Карелии, вследствие большего удаления от моря; в отдельные дни при проникновении тропических масс воздуха температура может достигать 30°.

### **12. Средняя полоса европейской территории СССР**

Средняя полоса европейской территории СССР включает часть Ленинградской области, Белоруссию, Горьковскую область, Татарскую АССР и часть Украины.

Западная часть этой обширной территории находится под воздействием атлантического воздуха и частых циклонов. Поэтому климат здесь сравнительно мягкий. Температура января не ниже — 8°; температура июля не выше 20°. Годовая сумма осадков 600 мм и выше; они довольно равномерно распределяются по всему году.

В Белоруссии с успехом возделываются зерновые и овощные, картофель, лен, конопля, сахарная свекла; разводятся плодово-ягодные культуры.

Далее к востоку в центральных областях климат формируется под воздействием континентальных масс воздуха умеренных широт. В зимнее время нередки вторжения морского воздуха умеренных широт, вызывающего снегопады, а иногда оттепели. Наконец, в центральные области бывают вторжения арктических масс воздуха, вызывающие морозы до 40° и ниже, весной заморозки; средняя температура января около — 10°, июля около 18°.

Годовая сумма осадков свыше 600 мм; в южных районах несколько меньше — 500—550 мм.

В восточных районах средней полосы континентальность климата повышается. Температуры, особенно зимние, понижаются. Средняя температура января около — 19°. Количество осадков снижается до 450—500 мм в год.

В центральных и восточных районах возделываются все зерновые, овощные, технические и плодово-ягодные культуры, за исключением субтропических.



В южных частях лесостепной полосы температура несколько выше. Здесь возможно возделывание бахчевых, подсолнечника, винограда и других культур.

В Заволяжье континентальность климата усиливается. Количество осадков снижается до 350 мм. Количество безморозных дней 130.

Характеристика распределения различных классов погод для центральных областей Белоруссии приведена в таблице 60.

Таблица 60

Повторяемость различных классов погод (в %)

Белоруссия

Классе погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Умеренно засушливая				2	8	10	6	6				
Малооблачная			3	20	32	24	26	32	34	40	1	
Облачная днем												
без осадков				10	13	21	19	18	16	8	2	1
с осадками				3	8	12	15	12	10	6		
Облачная ночью												
без осадков		1	4	7	8	6	4	6	8	8	2	1
с осадками			1	4	3	3	3	5	3	1		
Пасмурная	1	3	6	7	9	8	7	7	12	18	17	7
Дождливая	1	1	2	15	16	16	20	14	17	14	13	4
Погода с переходом температуры через 0°												
облачный день	26	24	24	15	2					19	25	29
ясный день	2	5	23	17	1					14	13	3
Слабо морозная	3	2	3							1	5	7
Умеренно морозная												
без ветра	2	10	8								2	4
с ветром	43	33	21							1	20	40
Значительно морозная												
без ветра	3	4	1									
с ветром	16	17	4									3
Сильно морозная												
без ветра	1											
с ветром	2											

Из данных таблицы видно, что в первом квартале года преобладающими классами погод являются умеренно морозные с ветром, а также облачные дни с переходом температуры через 0°.

В апреле морозных погод нет, хотя погоды с переходом температуры через 0° еще сохраняются. Появляются дождливые дни, а также значительное количество солнечных дней; такое соотношение сохраняется до осени. С октября повторяемость солнечных

погод резко уменьшается; увеличивается число дней с пасмурной погодой и с переходами температуры через 0°. В ноябре и декабре снова устанавливаются зимние типы погод: умеренно морозные, а также облачные дни с переходом температуры через 0°.

Пользуясь таблицей, можно составить график и дать детальный анализ хода погоды.

Таблица 61

**Повторяемость различных классов погод (в %)**

*Центральная часть европейской территории СССР*

Классе погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суховейно-засушливая						1						
Умеренно засушливая					6	23	8	3				
Малооблачная			1	24	29	15	24	22	28	7	1	
Облачная днем												
без осадков			1	6	17	20	20	21	15	5	2	
с осадками			1	5	10	10	10	13	7	2	1	
Облачная ночью												
без осадков		1	1	9	5	4	6	5	8	5	1	
с осадками				2	3	6	4	6	3	2		
Пасмурная	1	1	3	9	10	9	7	9	15	25	7	5
Дождливая			3	7	16	12	21	21	22	20	8	3
Погода с переходом через 0°												
облачный день	12	11	18	20	2					18	26	22
ясный день	2	2	18	17	2				2	8	11	2
Слабо морозная	2	1	3							3	6	5
Умеренно морозная												
без ветра	6	7	8							1	10	11
с ветром	42	36	37	1						4	22	41
Значительно морозная												
без ветра	9	12	2								1	3
с ветром	20	25	4								4	7
Слабо морозная												
без ветра	3	3										
с ветром	3	1										1

Таблица 61 дает распределение классов погод в центральной области европейской территории СССР, имеющей более континентальный климат.

Отметим главные различия повторяемости классов погод в центральных областях европейской территории Союза по сравнению с Белоруссией. В январе и феврале увеличилось число дней со значительными морозами и ветром; вдвое уменьшилось число дней с переходом через 0°. Зима более суровая. В июне

наблюдалось значительное количество (33%) умеренно засушливых дней. Лето и зима дают большие контрасты. Однако различия в погодах Белоруссии и центральных областей европейской территории Союза не так велики вследствие сравнительно небольшого расстояния между ними. Дальше к востоку континентальность климата выражена сильнее.

В районе Средней Волги и северной части приволжской возвышенности (южная часть Горьковской области, Марийская, Чувашская, Татарская, Мордовская АССР, северная часть Пензенской области, западная половина Куйбышевской области) климат значительно отличается от климата смежных западных областей в сторону резкого возрастания континентальности. Резко возрастает повторяемость малооблачных и особенно засушливых погод. В течение ряда месяцев наблюдаются погоды с суховеем. Зимой число оттепелей значительно меньше, а дней с сильными и значительными морозами больше.

В этом районе весна протекает быстро и сопровождается большим числом ясных дней, хотя в апреле еще наблюдаются облачные дни, иногда с дождями. С начала мая отмечаются случаи засушливой погоды; с середины мая в юго-восточной части района начинается лето. В северо-западной части лето начинается с конца мая. Передние засухи начала лета крайне неблагоприятны для сельского хозяйства.

Осень начинается в сентябре. В октябре значительное количество затяжных дождей и высокая влажность воздуха.

Зима начинается с середины ноября и сравнительно сурова. Безморозные дни редки: подтаивание снега не наблюдается. Поэтому в течение всей зимы снежный покров имеет значительную высоту.

До марта господствуют морозные и сильно морозные погоды.

С конца февраля наблюдается резкий перелом в ходе зимы. Повторяемость морозов уменьшается, нарастает число дней с дождливой и пасмурной погодой. Иногда снег сходит уже в марте. Приход солнечной радиации начинает превышать излучение только в конце марта.

### 13. Степи юга европейской территории СССР

Южные степи охватывают южную часть Украины, юго-восточную часть центральных черноземных областей, Заволжье, Нижнее Поволжье, Калмыцкую АССР, Северный Кавказ.

Средняя температура июля 20—25°. В западных районах зимы теплые; температуры января не ниже — 6°. В восточных районах зимние температуры существенно понижаются и в заволжских степях достигают — 16, — 18°.

Сумма осадков в западных районах 400—450 мм; в восточных количество осадков снижается до 300—350 мм, в низовьях Волги — до 200 мм. Безморозных дней в году от 180 на западе до 150 на востоке. Во всей юго-восточной части наблюдаются суховеи; число суховейных дней в теплое время года бывает свыше 50.

Таблица 62 дает характеристику суховея, который наблюдался в Саратове в течение пяти дней.

Направление ветра особого значения не имеет; важна его температура и влажность. Температура превышает 30°, влажность понижается до 25%. Средние скорости ветра невелики. Тем не менее большая длительность суховея приводит растения к гибели.

Таблица 62

Суховей

Число	Температура воздуха (в °)			Относительная влажность (в %)			Ветер (в м/сек)		
	7 час.	13 час.	19 час.	7 час.	13 час.	19 час.	7 час.	13 час.	19 час.
1	18,0	26,0	17,7	50	34	45	5	7	3
2	20,8	28,2	23,9	44	25	44	5	7	3
3	23,6	30,8	24,1	55	32	38	4	12	4
4	22,0	30,4	23,2	54	31	52	5	9	4
5	20,2	25,4	15,9	58	36	80	5	7	7

Весна в этой зоне начинается в марте и заканчивается в апреле. В марте преобладают дни с пасмурной или дождливой погодой и дни со слабыми или умеренными морозами. Наблюдаются также погоды облачные с переходом температуры через 0° и радиационные оттепели. В апреле повторяемость различных типов погод резко изменяется. Совершенно исчезают погоды морозные. Появляется значительное количество малооблачных дней. В то же время сохраняется значительное число дней с дождливой погодой.

Лето начинается с мая и продолжается до октября.

В июле и особенно в августе в восточной и южной части района могут быть отдельные дни с суховеями. В течение всего лета около трети всех дней пасмурные или дождливые. Облачных дней немного.

Такое соотношение числа дней с умеренно засушливой погодой и дней пасмурных и дождливых сохраняется в течение всего летнего сезона. Лето растянуто.

В октябре треть дней характеризуется малооблачной погодой; значительное количество дней с пасмурной и дождливой погодой. Морозные погоды бывают как исключение 1—2 раза в восточной

части района. В поябре сохраняется число дней пасмурных и дождливых; однако число дней с малой облачностью резко уменьшается и в первой половине декабря не наблюдается совсем. Отмечается значительное число дней с морозной погодой.

С середины декабря образуется устойчивый снежный покров; преобладает умеренно морозная погода с ветром; наблюдается также значительно морозная погода, иногда с ветром. В восточной части района повторяемость этих погод выше, чем в западной.

#### 14. Крымский полуостров

Вдоль Южного побережья Крыма проходит горная цепь. Средняя высота ее равна 1 км. В прибрежной полосе горная цепь создает иные климатические условия, чем в северо-западной степной части полуострова.

Северная равнинная часть Крыма имеет степной климат. Количество осадков здесь 300—350 мм, температура летних месяцев выше 22°. Поэтому в степной части создается отчасти засушливый характер климата.

В горной части полуострова количество осадков достигает 1000 мм.

Южный берег Крыма защищен от прямого вторжения холодных масс воздуха с севера: они идут в обход горной цепи, проходя при этом над теплой морской поверхностью. Поэтому на Южном берегу Крыма зима мягкая: средняя температура января около 3°,5, морозов ниже — 15° не наблюдается.

Летом средняя температура июля достигает 24—25°. Годовое количество осадков в Ялте 600 мм.

В горах температуры значительно понижены. Абсолютный минимум температуры на Ай-Петри около — 25°; средняя температура января — 4°, 2, июля 15°,7.

Климат Крымского полуострова характеризуется большим количеством солнечных дней. На Южном берегу Крыма растут магнолии, миндаль, грецкий орех, оливковое дерево, кипарис и другие субтропические культуры.

#### 15. Климаты Кавказа

Средняя высота Кавказского хребта 3000 м; он идет вдоль северного берега Черного моря и достигает средней части Каспийского моря.

Климат Северного Кавказа отличается низкими температурами зимой и высокими летом. При вторжении холодных масс воздуха с севера температура может падать до — 35°. Средняя

особенно с апреля повторяется значительное количество малооблачных погод (45%) и даже умеренно засушливых (4%).

Таблица 64

Повторяемость различных классов погод (в %)

Южная Армения

Классе погоды \ Месяц	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суховейно-засушливая					3	12	31	34	40			
Умеренно засушливая				4	22	49	59	58	42	7		
Малооблачная		3	15	45	33	18	3	5	36	61	39	6
Облачная днем												
без осадков			3	7	7	2	1	1	3	2	2	1
с осадками			2	5	8	4	1		2	3	2	
Облачная ночью												
без осадков	2	1	4	4	4	1	1		1	4	6	4
с осадками		2	3	5	10	6	2	1	2	6	4	1
Пасмурная	1	2	8	7	3	2	1		1	3	8	6
Дождливая	2	2	5	14	10	6	1	1	3	11	11	6
Погода с переходом температуры через 0°												
облачный день	18	23	16	1							6	13
ясный день	32	40	41	8						3	20	42
Слабо морозная			2								1	1
Умеренно морозная												
без ветра	34	16	1								1	16
с ветром	5	5	1									2
Значительно морозная												
без ветра	6	4										2

С мая уменьшается число малооблачных погод, но сильно увеличивается число умеренно засушливых и даже суховейно-засушливых погод. В летние месяцы засушливые погоды сильно возрастают. В июне их 61% и малооблачных 18%, в июле 90%, в августе 92%, в сентябре 52% и малооблачных 36%. В этих числах ярко выражено суховейно-засушливое лето; дождливые и пасмурные дни наблюдаются в единичных случаях. Только в октябре резко снижается число засушливых погод, нарастает число дней с малооблачной погодой (61%) и появляется небольшое число дождливых дней (11%). В ноябре снижается число малооблачных дней, наблюдаются погоды с переходом температуры через 0°. В декабре погоды с переходом через 0° преобладают (42%) и появляется значительное число (21%) морозных погод различных градаций.

В горах по мере поднятия количество выпадающих осадков увеличивается. Летние и зимние температуры понижаются. В различных местах Кавказа наблюдаются фёны.

## 16. Средняя Азия

Средняя Азия находится в центре Азиатского материка. На ее территории расположены республики Узбекская, Туркменская, Таджикская, Киргизская, Казахская. С юга эта территория ограничена горными хребтами, идущими вдоль параллелей, поэтому влажный воздух, приходящий с юга, перетекая через горные хребты, высушивается. Воздушные массы, поступающие с севера, несут с собой малые запасы водяных паров и, кроме того, подогреваются; поэтому северные воздушные массы также сухие. В результате вся Средняя Азия отличается резко выраженной засушливостью; все низменные части Средней Азии заняты пустынями и полупустынями; оазисы имеются только по течению рек.

В южной части Туркмении, в Байрам-Али, средняя температура в летние месяцы 28—31°, в январе средняя температура 0°,6. В отдельные дни летом температура может достигать 50° и выше. В зимнее время возможны значительные морозы. Осадков выпадает очень мало, за год около 10 мм. В течение летних месяцев осадки не выпадают. Влажность воздуха падает до нескольких процентов.

Распределение погод в южной части Туркмении приведено в таблице 65.

Таблица 65

Повторяемость различных классов погод (в %) Южная Туркмения

Класс погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сухойно-засушливая			1	7	42	83	97	91	51	7		
Умеренно засушливая	1	2	6	28	29	10	2	8	38	36	7	2
Малооблачная	15	29	39	32	7				6	37	42	21
Облачная днем												
без осадков	3	4	6	7	5	2			2	3	4	3
с осадками	1	1	3	4	4	1				2	1	1
Облачная ночью												
без осадков	3	3	3	3	2				1	2	4	3
с осадками	1	1	2	3	1					1	1	1
Пасмурная	11	10	12	6	5	2		1	2	5	9	14
Дождливая	6	6	12	10	5	2	1			5	5	5
С переходом температуры через 0°												
облачный день	15	13	5								7	10
ясный день	28	24	10							2	17	33
Слабо морозная	1	1	1								1	
Умеренно морозная												
без ветра	9	3									1	4
с ветром	6	5									1	3

В зимние месяцы часто наблюдается погоды с переходом через 0°; значительное число дней облачных, пасмурных и дождливых. С января нарастает число малооблачных дней (январь 15%, февраль 29%, март 39%, апрель 32%, октябрь 37%, ноябрь 42%, декабрь 21%). В летние месяцы резко возрастает процент погод засушливых и суховеино-засушливых (табл. 66).

Т а б л и ц а 66

Повторяемости классов погод в летние месяцы.

Класс погод	Месяц					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Суховеино-засушливая	7	42	83	97	91	51
Умеренно засушливая	28	29	10	2	8	38
Сумма	35	71	93	99	99	89

Только с октября нарастает число малооблачных погод и происходит постепенный переход к зиме.

Климат восточной, горной части Казахстана отличается от климата западной части, представляющей собой равнину.

В равнинной части летом температуры воздуха выше, чем в горах, зимой ниже, разницы среднемесячных температур доходят до 4°.

В Алма-Ате, расположенной в горной части на высоте 800 м, в июле средняя температура 23°; в Кызыл-Орде, расположенной на равнине к востоку от Аральского моря, средняя температура июля 26°, 2.

Количество осадков, выпадающих за год в Алма-Ате, 577 мм, в пять раз больше количества осадков, выпадающих в Кызыл-Орде, — 107 мм.

В летние месяцы в равнинной части Казахстана наблюдаются черные бури, в зимние месяцы — снежные бураны.

Более подробное сравнение климатических особенностей степной и горной части Казахстана можно сделать, рассмотрев распределение различных классов погод, данное в таблицах 67 и 68.

Приведенные таблицы показывают, что в равнинной части значительно больше суховеино-засушливых и умеренно засушливых погод, чем в горной. Сравнительные данные приведены в таблице 69.

В январе в степной части значительно больше морозных дней (75%), чем в горной (50%). В степной части Казахстана возможны морозы. В горной части наблюдается значительное число дождливых дней; они распределены по всем месяцам, в то время как в степной части летом осадки вообще не выпадают.



## Повторяемость различных классов погод (в %)

Западная, равнинная часть Казахстана

Месяц Классе погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суховейно-засушливая				1	24	60	66	48	7			
Умеренно засушливая			2	24	51	32	27	43	42	4		
Малооблачная	1	4	36	48	14	3	2	5	39	68	21	3
Облачная днем												
без осадков		1	1	6	4	2	3	3	5	3	2	
с осадками		1	4	7	3	1	1	1	2,5	5	2	
Облачная ночью												
без осадков	1	2	1							1	2	3
с осадками	1	2	2	3	2	1	1		1,5	2	2	2
Пасмурная	1	2	3	3					1	3	7	3
Дождливая	2	6	6	8	2	1			2	5	7	7
Погода с переходом температуры через 6°												
облачный день	10	10	11							2	8	10
ясный день	10	19	26							7	29	17
Слабо морозная	3										1	1
Умеренно морозная												
без ветра			6	1							3	9
с ветром	32	24	6								13	24
Значительно морозная												
без ветра	7	2									1	3
с ветром	19	20	1								2	17
Сильно морозная с ветром	1	1										1

Таблица 68

## Повторяемость различных классов погод (в %)

Восточная, горная часть Казахстана

Месяц Классе погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суховейно-засушливая					3	9	32	37	10			
Умеренно засушливая			1	8	24	29	37	34	29	13		
Малооблачная	2	14	40	31	24	12	14	14	39	50	18	2
Облачная днем												
без осадков		3	8	4	6	3	3	3	4	4	2	
с осадками	1	8	11	14	11	6	4	4	4	6	3	

Класс погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Облачная ночью												
без осадков			1	3	3	3	2	2	3	2	3	
с осадками		1	2	6	9	9	4	3	4	2	1	
Пасмурная			2	2	2	1	1		2		2	
Дождливая		1	7	10	10	8	3	3	6	8	1	
Погода с переходом тем- пературы через 0°												
облачный день	12	12	15	5						5	13	13
ясный день	38	36	27	7						10	32	31
Слабо морозная											1	
Умеренно морозная												
без ветра	30	21	10								11	29
с ветром	7	7	8								4	8
Значительно морозная												
без ветра	11	14	2								6	14
с ветром	2	4									1	3
Сильно морозная												
без ветра											2	
с ветром	1											

В Узбекистане распределение погод сходно с распределением их в степной части Казахстана. В Ташкенте в июле средняя температура 27°,4. Годовое количество осадков 350 мм; они выпадают главным образом с ноября по май. В летние месяцы количество осадков резко снижается.

Таблица 69

Район	Засушливые классы погод (в %)				
	V	VI	VII	VIII	IX
Степная часть	75	92	93	91	49
Горная часть	27	38	69	71	39

В Средней Азии обилие солнечной радиации и недостаток воды. Устойчивое земледелие возможно по долинам рек, а также на поливных землях. Возделываются зерновые, плодовые, овощные, бахчевые, рис и другие культуры. Ведется отгонное животноводство.

## 17. Западная Сибирь

Западная Сибирь представляет собой равнину, покатую к северу. На территории Западной Сибири текут мощные реки: Обь с Иртышом и Енисей. С запада она ограничена невысоким Уральским горным хребтом. Западная Сибирь находится под воздействием атлантических воздушных масс, которые проникают сюда через невысокую цепь Уральских гор, а также отчасти в обход их. Основные пути циклонов проходят по северным районам и создают здесь сильные ветры, большую облачность и выпадение осадков летом или мощный снежный покров зимой. Циклоны способствуют проникновению в Западную Сибирь масс арктического воздуха, которые распространяются далеко на юг, в Казахстан. На территории Западной Сибири происходит трансформация воздушных масс в континентальный воздух. Выход этих масс на запад происходит через Арало-Каспийскую низменность.

На севере в области тундры и лесотундры наблюдаются наиболее низкие температуры, до  $-30^{\circ}$ ; в июле средние температуры доходят до  $16-18^{\circ}$ . За год выпадает до 300—400 мм осадков. Высота снежного покрова достигает 1 м.

В центральных районах Западной Сибири зимой при вторжении арктических воздушных масс температура воздуха может опускаться ниже  $-50^{\circ}$ ; иногда при вторжении атлантического воздуха наблюдаются оттепели.

Таблица 70 дает распределение различных классов погод в центральной части Западной Сибири.

Зимние месяцы отличаются почти непрерывными морозными погодами различной интенсивности. В ноябре таких погод 80%, из них сильно морозных 11% и жестко морозных 2%. В декабре всего морозных погод 96%, из них сильно морозных 15% и жестко морозных 7%; в январе всего морозных погод 98%. В феврале морозных погод 95%, из них сильно и жестко морозных погод 32%. В марте и особенно в апреле заметен переход к весне и лету. Отмечаются оттепели и малооблачные погоды (19%). В мае преобладают малооблачные погоды (25%); появились умеренно засушливые и даже суховеино-засушливые погоды, которые повторяются в июне, июле и августе. Дождливых дней мало, осадки выпадают главным образом в летние месяцы; в сентябре дождливые погоды несколько усиливаются; сентябрь и октябрь — месяцы, переходные к зиме, которая начинается с ноября. Высота снежного покрова 50 см, снег лежит в течение 6 месяцев. Заморозки возможны в течение всего лета.

В северной части Западной Сибири имеется вечная мерзлота.

В Западной Сибири возделывают пшеницу, просо, подсолнечник и другие сельскохозяйственные культуры. Развивается садоводство (стелющиеся плодовые деревья). Развито скотоводство.

## Распределение различных классов погоды (в ‰)

## Центральная часть Западной Сибири

Класс погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суховейно-засушливая					4	6	3	1				
Умеренно засушливая				1	12	22	18	14	6			
Малооблачная			1	19	25	16	24	26	30	14	1	
Облачная днем												
без осадков				8	15	20	16	20	14	7		
с осадками				2	8	10	12	9	16	2		
Облачная ночью												
без осадков				1	5	3	4	3	5	4		
с осадками					3	3	4	4	4	1		
Пасмурная				3	4	9	6	9	9	6	1	
Дождливая			1	5	7	11	13	14	17	3	1	
Погода с переходом температуры через 0°												
облачный день	1	3	7	15	8				5	30	11	3
ясный день		1	9	32	9				4	24	6	1
Слабо морозная										1	2	
Умеренно морозная												
без ветра	1		2							1	6	2
с ветром	22	21	40	12						6	39	30
Значительно морозная												
без ветра	3	3	7								2	4
с ветром	42	40	28	2					1	18	35	
Сильно морозная												
без ветра	6	5	1								3	2
с ветром	21	22	4								8	15
Жестко морозная												
без ветра	1	2										1
с ветром	3	3									2	7

## 18. Восточная Сибирь

Восточная Сибирь занимает территорию от Енисея до Колымы; с юга и юго-востока она ограничена Становым хребтом. Климат Восточной Сибири отличается большой континентальностью.

В зимние месяцы здесь развивается мощный азиатский антициклон. Средняя температура января доходит до  $-50^{\circ}$ . В отдельные дни температура может понижаться до  $-70^{\circ}$ .

## Распределение различных классов погод (в %)

Восточная Сибирь

Месяц Класс погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суховейно-засушливая						1	2					
Умеренно засушливая					2	25	35	15				
Малооблачная				1	16	23	25	44	26	2		
Облачная днем												
без осадков				1	8	13	11	14	8	2		
с осадками					2	9	8	5	3	1		
Облачная ночью												
без осадков					4	8	3	5	5			
с осадками					1	3	4	3	3			
Пасмурная					9	9	5	7	5	1		
Дождливая					6	8	7	6	4			
Погода с переходом температуры через 0°												
облачный день				12	20				13	15		
ясный день			1	39	30	1		1	30	20		
Слабо морозная									1	1		
Умеренно морозная												
без ветра				3	9					14	2	
с ветром				6	18	2			2	24	5	
Значительно морозная												
без ветра				15	7					8	9	2
с ветром		1	21	11						11	12	1
Сильно морозная												
без ветра	1	8	20	1						1	16	5
с ветром	5	14	20	1							15	6
Жестко морозная												
без ветра	16	31	10								20	17
с ветром	20	23	4								12	17
Крайне морозная												
без ветра	44	17									6	38
с ветром	14	6									3	14

В летние месяцы средняя температура июля достигала 20°, в отдельные дни 36°.

Зима крайне суровая, но безморозная и малоснежная. Отрицательные температуры наблюдаются в течение восьми месяцев; заморозки возможны во все летние месяцы.

Лето короткое, не более 2—3 месяцев. Осадки выпадают главным образом в летние месяцы.

Число дней со средней температурой выше  $10^{\circ}$  в Верхоянске 77, в Якутске 95.

Распределение различных классов погод в Восточной Сибири приведено в таблице 71.

В январе 36% дней с температурой ниже  $-30^{\circ}$  и 58% дней с температурой ниже  $-43^{\circ}$ . Приблизительно такие же условия в декабре и феврале. В ноябре 31% погод с морозами ниже  $20^{\circ}$ , 32% с морозами ниже  $30^{\circ}$  и 9% погод с температурой ниже  $-40^{\circ}$ . В марте все дни с морозом, причем значительные морозы имеют повторяемость 36%, сильные морозы — 40%, жестокие морозы — 14%.

В летние месяцы преобладают малооблачные и засушливые погоды. Число дождливых дней небольшое — 6—8%; пасмурных дней 7—9%.

В Якутии возделывают рожь, пшеницу, ячмень, овес, картофель и другие культуры.

## 19. Дальний Восток

Дальний Восток занимает все побережье Японского, Охотского и Берингова морей, бассейн реки Амура, Камчатку, Курильские острова и Сахалин. От Восточной Сибири он отделен Становым и Яблоновым хребтами.

Климат Дальнего Востока формируется под влиянием муссонов, дующих зимой с азиатского материка, летом с Тихого океана.

Зимние муссоны создают на Дальнем Востоке холодные и малоснежные зимы. Летние муссоны переносят на материк морские тропические массы воздуха с большим содержанием водяного пара. Распределение классов погод на Дальневосточном побережье приведено в таблице 72.

Из таблицы видно, что с декабря до марта преобладают морозные погоды в значительной мере с ветром. Апрель и май, а также осенние месяцы сентябрь и октябрь характеризуются большим числом дней с малооблачной погодой. Летом возрастает число облачных, пасмурных и дождливых дней. Воздействие Тихого океана распространяется только на прибрежную полосу. В среднем течении Амура климат более континентальный, чем в Приморье. Во Владивостоке средняя температура января ( $-13^{\circ},6$ ) на  $10^{\circ},6$  выше, чем в Благовещенске ( $-24^{\circ},2$ ). Летние температуры различаются мало. Годовая сумма осадков в среднем течении Амура 500—600 мм. К северу, на побережье Охотского моря, средняя температура января достигает  $-24^{\circ}$ . Годовое количество осадков понижается до 300—500 мм.

Распределение различных классов погод (в %)   
 Дальневосточное побережье

Класс погоды	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Умеренно засушливая Малооблачная			4	37	45	26	17	22	53	58	13	
Облачная днем												
без осадков				10	8	4	3	7	7	6	2	
с осадками				4	3	3		3	7	3		
Облачная ночью												
без осадков				8	11	16	16	12	7	6	4	
с осадками				4	10	8	6	5	7	6	1	
Влажнотропическая												
без осадков							3	13				
с осадками							1	16				
Пасмурная				8	9	21	23	15	5	4	2	1
Дождливая				6	13	20	31	15	11	8	1	
Погода с переходом тем- пературы через 0°												
облачный день	1	2	13	9						2	8	13
ясный день	5	10	42	14						7	35	17
Слабо морозная			1								5	3
Умеренно морозная												
без ветра	8	6	4								24	37
с ветром	34	47	34									
Значительно морозная												
без ветра	1										1	2
с ветром	44	34	2								4	37
Сильно морозная												
без ветра	5											
с ветром	2	1										

Северная часть Приморского края находится под постоянным воздействием арктических масс воздуха. Климат здесь суровый. Морозы достигают 55°. Только прибрежная полоса имеет более высокие температуры. В центре Камчатки климат континентальный.

На Курильских островах лето непродолжительное, с большим количеством осадков и туманов. Годовое количество осадков достигает 1300 мм.

На севере Сахалина средняя температура января достигает  $-22^{\circ}$ . На южной части, находящейся под воздействием теплого Японского моря, средняя температура января  $15-17^{\circ}$ . Годовое количество осадков на севере 500 мм, на юге до 800 мм. Наибольшее количество осадков приходится на лето и осень.

В северных областях на развитие растений существенное влияние оказывают длинный полярный день, низкие температуры воздуха и почвы, умеренное, местами недостаточное количество осадков, постоянное наличие подстилающего замерзшего слоя почвы. В северных районах возделывают овощные и зерновые культуры. В южной части возделывают пшеницу, рожь, ячмень, сахарную свеклу, сою, рис и другие культуры.

В условиях Крайнего Севера большое значение приобретают такие агротехнические мероприятия, как посадки в гребень, лучше прогреваемый солнечными лучами, снегозадержание в начале зимы, препятствующее сильному охлаждению почвы; использование склонов различного наклона и ориентировки, имеющих более выгодный солнечный режим; искусственное дождевание в местах с недостатком влаги; искусственная ранняя снегосгонка.

## 20. Методы агроклиматического районирования

Агроклиматическое районирование устанавливает климатически возможные границы возделывания в производственных масштабах различных сельскохозяйственных культур.

Необходимо, чтобы методика агроклиматического районирования была научно обоснована. Непродуманная методика приведет к неправильному использованию земельных площадей, к большим убыткам и потере времени.

До настоящего времени методика агроклиматического районирования надлежащим образом не разработана. Применяемые методы нельзя признать удовлетворительными. Рассмотрим кратко, в чем они состоят. Согласно этим методам, агроклиматическую характеристику данного места определяют три показателя:

1. Сумма температур, которая характеризует в первом приближении термические ресурсы вегетационного периода, при которых могут расти и развиваться сельскохозяйственные культуры.

2. «Гидротермический коэффициент», который представляет собой отношение суммы осадков за известный период к одной десятой суммы температур, взятых за тот же период. Этот коэффициент дает оценку обеспеченности влагой вегетационного периода.

3. Среднее из абсолютных минимумов температуры воздуха, которое характеризует условия перезимовки.

Считается достаточным вычислить эти три величины, чтобы получить сельскохозяйственную характеристику данной местности.



Но сумма температур не может служить показателем термических ресурсов, при которых могут расти и развиваться сельскохозяйственные культуры, потому что при одной и той же сумме температур климаты двух мест могут быть резко различными. Чтобы убедиться в этом, достаточно сравнить климаты восточного побережья Черного моря (Сухуми) и климат южной части Туркмении (Ашхабад). Эти пункты характеризуются почти одинаковой суммой температур, но в Сухуми климат влажных субтропиков, а в Ашхабаде климат пустыни.

Далее при одной и той же сумме температур слагаемые, из которых состоит эта сумма, могут быть благоприятными для роста и развития растения или могут быть сильно отклоняющимися от нормы и вредными для растений.

По этим соображениям нельзя признать, что сумма температур с сельскохозяйственной точки зрения может характеризовать термические условия данного места.

При вычислении гидротермического коэффициента предполагается, что показателем расхода влаги в поле можно приближенно считать сумму температур, уменьшенную в 10 раз. Но расход влаги в поле зависит не только от температуры воздуха на высоте 2 м от земной поверхности, но и от температуры почвы, ее влажности, скорости ветра, экспозиции склона, рельефа, влажности воздуха и ряда других условий. Поэтому сумма температур не может служить показателем расхода влаги в поле, а следовательно, делить на нее сумму осадков нельзя. Таким образом, гидротермический коэффициент не может характеризовать степень обеспеченности растения влагой.

Третий показатель агроклиматического районирования — среднее из абсолютных минимумов температуры воздуха — имеет ограниченное значение. Условия перезимовки растений определяются величиной наблюдавшихся низких температур, их повторяемостью и длительностью. Даже небольшие морозы, но длительные могут быть для культуры губительными. Заменить учет этих условий одной величиной, средней из абсолютных минимумов, нельзя.

Для правильного решения задачи агроклиматического районирования должны быть использованы не только методы климатологии отдельных метеорологических элементов, но и методы комплексной климатологии. Эти методы должны быть хорошо известны и широко использованы биологами при изучении требований растений, предъявляемых к условиям окружающей среды.

Только сопоставляя требования растений с климатическими особенностями различных районов, можно будет указать климатически возможные границы возделывания данной культуры.

В заключение следует отметить, что имеются обстоятельные работы по агроклиматическому районированию. Отметим, напри-

мер, работы П. И. Колоскова, который проводил районирование в Дальневосточном крае<sup>1</sup> и Казахстане<sup>2</sup>.

Особое значение для агроклиматического районирования имеет работа Е. Е. Федорова и А. И. Баранова «Климат равнины европейской части СССР в погодах» (Труды Института географии АН СССР, 1949 г.). В этой книге дано описание климатов европейской территории Советского Союза по методу комплексной климатологии. Здесь отдельные районы характеризуются повторяемостью погод отдельных сезонов и года.

Только при условии одновременного изучения отдельных элементов и использования методов комплексной климатологии можно правильно решать вопросы агроклиматического районирования.

---

<sup>1</sup> П. И. Колосков. Климатические основы сельского хозяйства Амурской губернии. Изд. Дальневост. обл. мет. бюро. Благовещенск, 1925.

<sup>2</sup> П. И. Колосков. Агроклиматическое районирование Казахстана. М.—Л., изд. АН СССР, 1947.

## АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ РАБОТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

### 1. Задачи агрометеорологического обслуживания

Агрометеорологическая работа должна вестись в каждом хозяйстве. Для этого должна быть оборудована агрометеорологическая станция. Необходима также некоторая организационная работа.

Агрометеорологическое обслуживание хозяйства заключается в следующем:

1. Прием и передача руководству хозяйства всех предсказаний погоды и других материалов, регулярно издаваемых гидрометеорологической службой, а также содействие их производственному использованию.

2. Организация регулярных и сезонных наблюдений, необходимых для производственной работы хозяйства, для борьбы с неблагоприятными условиями погоды, для оценки условий произрастания культур, для научно-исследовательской работы, если она ведется.

3. Регулярное составление краткосрочных предсказаний погоды по местным признакам.

4. Изучение климата и микроклимата данного хозяйства для лучшего использования его различных климатических особенностей; разработка мероприятий по мелиорации климата.

5. В горных условиях организация обслуживания отар на отгонных пастбищах.

6. Консультация руководителей хозяйства по всем отмеченным выше вопросам.

Здесь перечислены только главные разделы работы.

Таким образом, программа работы по агрометеорологии обширна. Рассмотрим кратко отдельные этапы работы.

### 2. Изучение территории хозяйства

При ознакомлении с территорией хозяйства необходимо обратить внимание на рельеф, осмотреть все поля, овраги, возвышенности, а также расположение участков леса, водоемов, дорог, зданий и пр.

После общего ознакомления со всей территорией необходимо более подробно изучить рельеф; в частности необходимо измерить углы наклона и ориентировки каждого поля; выделить

низины и замкнутые котловины, если они есть; отметить их на карте как опасные в отношении заморозков.

В летнее время следует проводить *ветровые съемки*. Необходимо знать все особенности распределения ветра на полях. Это особенно важно при пересеченном рельефе, когда на разных полях наблюдается сложное распределение ветра в отношении его скорости и направления, а отсюда, как следствие, большое разнообразие интенсивности испарения с поверхности почвы, температуры и влажности почвы, распределения снежного покрова и др.

Ветровая съемка сводится к одновременному измерению скорости и направления ветра на разных полях. Для этого требуется несколько наблюдателей с ветромерами. В заранее установленные сроки наблюдатели, расположившиеся на разных полях, отсчитывают показания своих приборов. Результаты измерений, обработанные и нанесенные на карту хозяйства, служат характеристикой распределения ветра на территории хозяйства.

Ветровые съемки следует проводить при различных скоростях и направлениях ветра.

В зимнее время следует проводить снегомерные съемки; при этом обычно определяют высоту снежного покрова и его плотность. Высоту снежного покрова определяют походной рейкой. Плотность снежного покрова определяют весовым снегомером.

При снегомерной съемке наблюдатель с рейкой и весовым снегомером идет на лыжах по заранее намеченному маршруту и через определенные промежутки, например через каждые 30—50 м, определяет высоту снежного покрова и его плотность.

Маршрут должен охватить весь исследуемый участок.

Если рельеф местности пересеченный, то маршрут съемки должен в нескольких местах проходить под прямым углом к линии резко выраженных форм рельефа. Снегомерная съемка дает возможность выделить участки с более мощным снежным покровом, а также участки, с которых снег легко выдувается.

Изучение рельефа помогает наметить схему обводнения или осушения территории, схему посадок полос по склонам вокруг котловин для борьбы с заморозками, наметить маршруты снегомерных съемок.

После изучения рельефа хозяйства и его особенностей необходимо ознакомиться с почвенной картой, а также с установленными в хозяйстве севооборотами.

### **3. Организация агрометеорологических наблюдений**

Для агрометеорологических наблюдений необходимы вполне исправные приборы, имеющие поверочные свидетельства.

Недопустимо пользоваться всевозможными «бытовыми» приборами, т. е. упрощенными конструкциями приборов без пове-

рочных свидетельств. Работа с такими приборами может привести хозяйство к ошибкам и потерям.

Все приборы должны быть установлены в соответствии с инструкциями пользования, разработанными для каждого прибора. Неправильная установка даже хорошего прибора может обесценить результаты наблюдений.

Наблюдения должны быть организованы так, чтобы их можно было сравнить с наблюдениями сети гидрометеорологической службы. Это позволяет контролировать постановку агрометеорологической работы в хозяйстве, а также давать оценку правильности предсказаний погоды учреждениями гидрометеорологической службы. Агрометеорологическая станция должна иметь одну цель — обслуживание данного хозяйства. Однако в отдельных случаях программа агрометеорологических наблюдений может быть расширена.

Прежде чем начинать установку агрометеорологических приборов, необходимо определить направление полуденной линии, определить точки севера, востока, юга и запада. Необходимо также определить поправку для перехода от гражданского времени к местному среднесолнечному времени.

Работа агрометеорологической станции протекает:

а) в постоянном закрытом помещении, в дежурной комнате наблюдателя;

б) на постоянной метеорологической площадке;

в) на пунктах сезонных наблюдений, на полях среди культур, в орнжерейх, теплицах, парниках, в лесу и среди лесных полей;

г) в животноводческих хозяйствах — на фермах, отгонных пастбищах и передвижных станциях.

Для работы на агрометеорологических станциях должны быть выделены лица, имеющие соответствующую подготовку, обладающие хорошим зрением и здоровьем.

В комнате наблюдателя должны быть:

радиоприемник для регулярного приема всех сводок и предсказаний погоды, передаваемых учреждениями гидрометеорологической службы;

телефон для связи с ближайшей метеорологической станцией и с различными учреждениями;

часы для определения времени, различные приборы для измерения давления воздуха — в первую очередь барограф. Ценность этого прибора в производственной сельскохозяйственной работе заключается в том, что по характеру записи барографа можно судить о предстоящих в ближайшие часы резких изменениях погоды.

Барограф должен быть установлен вдали от отопительных приборов, на специальной полке, укрепленной на стене. Он не должен освещаться прямыми солнечными лучами.

Полезно иметь на станции также барометр-анероид. Прибор удобен для переноски, поэтому может быть использован при изучении рельефа, особенно в резко пересеченной гористой местности. Хранить прибор следует в футляре.

На рабочем столе или в ящике должны быть психрометрические таблицы, наставление гидрометеорологическим станциям и постам, атлас облаков, необходимый бланковый материал, книжки для записи наблюдений, ленты для самописцев, письменные принадлежности.

Таково оборудование служебной комнаты агрометеорологической станций.

Для наблюдения в полевых условиях оборудуют постоянную площадку. Она должна быть расположена на открытом ровном месте и иметь размер не меньше 1000—1200 м<sup>2</sup>. Если площадка будет слишком малой, то ограждение ее может вызвать искажения в залегании снежного покрова и влиять на показания некоторых приборов. Площадка должна быть расположена вдали от строений, лесных насаждений, водоемов, оврагов, проезжих дорог, должна быть открыта ветрам всех направлений.

Постоянная площадка должна быть огорожена проволоочной сеткой или редкой тонкой штахеткой, окрашенной белой краской.

На площадке не должно быть никаких посевов. Она должна быть покрыта травой, не превышающей по высоте 20 см. Если высота травы превышает этот предел, ее следует подкашивать.

На площадке не должно быть никаких искусственно сделанных дорожек со снятым дерном.

В центре площадки устанавливают на подставке метеорологическую будку, внутри которой помещают станционный психрометр, а также максимальный и минимальный термометры.

Между термометрами, на той же стойке, закрепляют гигрометр.

Высота будки должна быть такова, чтобы резервуар сухого термометра находился на высоте 2 м от земной поверхности.

Этот уровень мало подходит для сельского хозяйства, различные культуры, кустарники, деревья располагаются обычно в слое или ниже, или выше 2 м. Наблюдения в метеорологической будке полезно проводить потому, что они связывают работу данной метеорологической станции с работой ближайших метеостанций и позволяют контролировать свою работу. Кроме того, предсказания погоды, которые даются центральными и областными учреждениями гидрометслужбы, например предсказания ожидаемой температуры воздуха, относятся к уровню 2 м. Наблюдения в метеорологической будке дают возможность проверить правильность этих предсказаний.

На территории станции должна быть выделена небольшая площадка, размером 16—25 м<sup>2</sup>, специально для установки почвенных термометров. Дерн на этой площадке должен быть снят.

Термометры — срочный, максимальный и минимальный — должны быть выложены на поверхность почвы. Коленчатые термометры вкапывают в почву до глубины 5, 10, 15 и 20 см.

Если требуется измерять температуры на большой глубине, то предварительно следует вкопать трубки — футляры, сделанные из материала, имеющего малую теплопроводность, например из эбонита или пластмассы. Внутри такого футляра до самой почвы опускают палку, на конце которой закреплен термометр в специальной оправе с медным дном. В часы наблюдений термометр вынимают и после отчета снова опускают в футляр.

Для измерения скорости и направления ветра на площадке устанавливается столб высотой 10—12 м с укрепленным на конце флюгером Вильда.

Следует подчеркнуть, что скорость и направление ветра на высоте 10—12 м дают лишь общее представление о движении потока воздуха. В нижних слоях вблизи культур направление и скорость ветра для каждого поля могут быть разными в зависимости от рельефа местности, расположения различных преград, лесных и лесополосных насаждений и т. п.

Для измерения осадков устанавливается осадкомер.

Для измерения дождя следует дополнительно установить дождемерное ведро в почву.

Высота снежного покрова измеряется установленной на площадке снегомерной рейкой.

Для измерения продолжительности солнечного сияния устанавливается гелиограф.

Кроме указанных выше приборов, на агрометеорологической станции должны быть установлены фито-психрометры на уровне 25 и 50 см от поверхности почвы.

Размещение приборов на площадях должно быть такое, чтобы ни одна установка в дневные часы не затенила соседнюю. Поэтому с южной стороны площадки размещают почвенные термометры, фитопсихрометры, дождемерную установку, заложенную в почву. Затем к северу устанавливают гелиограф, осадкомер, еще дальше к северу — метеорологические будки и столб с флюгером.

Удобно на постоянной площадке иметь небольшой неотапливаемый навильон площадью 4—6 м<sup>2</sup>; внутри него должен быть стол и весы для изучения взятых с поля проб снежного покрова и его отдельных слоев, распределения и мощности ледяных корок, притертых и висячих.

Если крыша навильона плоская, то на ней можно установить приборы для измерения солнечной радиации и освещенности.

При использовании электрических приборов, например для измерения температуры почвы на разных глубинах, скорости и направлении ветра, солнечной радиации и др., в навильоне могут быть установлены соответствующие регистраторы. Эти приборы

требуют от наблюдателей гораздо более высокой квалификации и подготовки.

Сроки наблюдений на постоянной площадке устанавливаются в соответствии с потребностями производства в данном хозяйстве.

На станциях общей метеорологии наблюдения ведутся круглосуточно через каждые три часа по московскому времени, начиная с 0 часов; на агрометеостанциях сроки наблюдений могут быть другими, однако желательно, чтобы по крайней мере один срок совпадал со сроком наблюдения соседних метеорологических станций. Это даст возможность путем сравнения результатов контролировать работу.

Для агрометеостанции нет необходимости вести все наблюдения непрерывно и регулярно в течение всего года. В зимние месяцы программа и сроки наблюдений могут быть изменены в зависимости от характера хозяйства и возделываемых культур. В животноводческих отгонных хозяйствах зимние наблюдения могут быть расширены в целях более полного обслуживания скота, находящегося на отгонных пастбищах.

*Наблюдения на сезонных пунктах должны составлять основу всей работы агрометеостанции.*

Пункты сезонных наблюдений должны быть раскинуты по всем полям, среди всех культур. Размещение этих пунктов и их инструментальное оборудование могут быть разнообразными и зависеть от поставленной задачи. Для примера разберем некоторые частные случаи.

1. Допустим, что задача наблюдений заключается в определении условий среды, в которых растет и развивается данная культура.

Если поле, на котором растет культура, ровное, то достаточно организовать наблюдения в 3—4 пунктах, расположенных по всему полю. Пункты должны быть расположены вдали от границы поля, так, чтобы на показания приборов не оказывали влияние условия соседнего поля. На каждом пункте должен быть установлен фито-психрометр; высота его расположения может быть разной в зависимости от культуры. Фито-психрометр должен быть расположен среди культуры, на уровне, где развиваются репродуктивные части растения — цветки, завязи, плоды. Вблизи фито-психрометра следует измерять температуру и влажность почвы.

Данные относительно солнечного сияния и количества выпавших осадков следует взять на постоянной площадке. Если площадь хозяйства очень велика, следует организовать дополнительные дождемерные установки.

Задача наблюдений — следить за ходом температуры и влажности воздуха и почвы, за продолжительностью солнечного сияния, количеством выпадающих осадков.



Этот основной перечень наблюдений в зависимости от поставленной задачи и культуры можно расширить, например, изучением скорости и направления ветра над культурой и среди культуры, т. е. изучить продуваемость культуры, ее вентиляцию, от которой в значительной степени зависит содержание среди растений углекислого газа, а также испарение с поверхности почвы и растений.

Влажность почвы следует определять на разных глубинах не только в слое залегания корневой системы, но и ниже его, чтобы судить о запасах влаги в почве.

Всестороннее обследование состояния среды, во взаимодействии с которой растет и развивается культура, даст полное понимание того состояния, в котором находится культура в каждый данный момент, объяснит количество и качество полученного урожая. Регулярное наблюдение за состоянием среды позволяет своевременно принимать меры для улучшения условий роста и развития растений, например устанавливать сроки и размеры поливов.

2. Допустим, что задача наблюдений состоит в том, чтобы организовать в плодовом саду борьбу с заморозками.

Прежде всего следует заготовить необходимые защитные средства. Например, при весенней чистке сада собрать дымовые кучи, расставить грелки, установить связь с ближайшим отрядом сельскохозяйственной авиации и пр.

Чтобы рационально и своевременно использовать все защитные средства, необходимо хотя бы за краткий промежуток времени предвидеть наступление заморозка. Для этого необходимо организовать непрерывные наблюдения за состоянием атмосферы в ночные часы.

Среди защищаемой культуры следует поставить несколько фито психрометров и наблюдения по ним проводить ежедневно, начиная с 18 час. и до восхода солнца следующего дня. После каждого наблюдения следует по психрометрическим таблицам немедленно определить для данного часа точку росы и составить «сигнальный график».

Анализ результатов наблюдений даст сведения о возможности возникновения заморозков.

3. Допустим, что наблюдения ведут для изучения влияния лесной полосы на почву и окружающие слои воздуха. В этом случае пункты наблюдений должны быть расположены по одной или нескольким линиям, направленным перпендикулярно направлению лесной полосы. На каждом пункте должны быть приборы для измерения по крайней мере на двух уровнях температуры и влажности воздуха, а также скорости ветра. Для измерения температуры и влажности воздуха могут быть использованы фито психрометры. Для измерения скорости ветра обычно применяется ручной анемометр. Следует отметить, что вблизи лесной

полосы (или около другого препятствия), там, где воздушный поток может иметь значительный наклон к горизонтальной поверхности, ручной анемометр может дать неправильные показания.

На пунктах необходимо установить почвенные испарители. Следует проводить также измерение влажности почвы.

4. Наблюдения проводят для обслуживания отгонного животноводства.

В этом случае программа работы агрометеостанции существенно отличается от изложенных выше, ее проводят для защиты скота, находящегося на отгонных пастбищах.

Кроме постоянной станции, организуемой в самом хозяйстве, должны быть организованы пункты, передвигающиеся вместе с перегоняемым скотом. Задача пункта — прежде всего получение предсказаний погоды, передаваемых по радио учреждениями гидрометслужбы, и производственное использование их.

В программу работы станции, кроме обычных наблюдений, входят более подробные наблюдения за явлениями, имеющими значение для скота. К ним относятся резкие и значительные понижения температуры, оттепели, снегопады, плотный и высокий снежный покров, метели и поземки, дожди при отрицательных температурах воздуха, гололед, лед на почве и на поверхности снега, сильные ветры.

Таким образом, основным содержанием работы передвижных станций является, кроме приема сводок гидрометслужбы, непрерывное наблюдение за состоянием погоды, а также предсказание погоды на ближайшие часы по местным признакам.

От качества работы агрометеоролога на пункте наблюдения может зависеть благополучие и жизнь не только огромных количеств скота, но и обслуживающих их людей.

Кроме работы на постоянной площадке и на сезонных пунктах наблюдения, сотрудники агрометеорологических станций проводят также походные измерения температуры и влажности почвы.

На каждом поле в отдельности следует провести измерения в нескольких точках, и прежде всего в тех слоях, где будут находиться семена высеваемой культуры.

Температура и влажность почвы позволяют определить весенние запасы влаги в почве, сроки весеннего боронования, а также сроки сева или посадки.

Измерения влажности почвы следует проводить не только весной и во время роста и развития растений, но и в осенние месяцы для определения предзимнего запаса влаги в почве.

К обязанностям агрометеоролога относится участие во всех работах по борьбе с неблагоприятным состоянием среды. К таким мероприятиям следует отнести, например, важнейший агротехнический прием — снегозадержание. В тех областях, где вегетационный период краткий, а суммы солнечной радиации боль-

шие (Якутия), полезно и обратное воздействие на снежный покров — искусственная снегосгонка. Этим путем достигается удлинение вегетационного периода на 7—10 дней, что может иметь производственное значение.

Изменение температурного и водного режима поверхностного слоя почвы достигается также мульчированием — покрытием почвы слоем торфа, опилками, бумагой.

Участие агрометеоролога необходимо также при обсуждении планов агромелиорации, например при выборе направления посадки лесных полос, при составлении схемы мероприятий по борьбе с заморозками, при разработке планов орошения.

К обязанностям агрометеоролога относится регулярная проверка часов и определение среднесолнечного времени, по которому ведутся все агрометеорологические наблюдения, а также расчет солнечного режима различно наклоненных и различно ориентированных полей.

Важное значение в работе агрометеорологической станции имеет обработка результатов измерений и ведение журналов, в которые записываются сведения, получаемые от учреждений гидрометслужбы. В журнал ежедневно должны заноситься полученные по радио или телефону предсказания погоды; на следующий день необходимо записать, насколько эти предсказания оправдались и в какой степени они были полезны данному хозяйству.

#### 4. Изучение климата и микроклимата данного места

Изучать климатические особенности данного места агрометеоролог должен непрерывно, из года в год, постепенно углубляя и уточняя климатическую характеристику на основании проведенных наблюдений.

Основным материалом для изучения климата данной местности должны служить справочники и монографии, издаваемые гидрометеорологической службой. Отметим, например, книги: Б. П. Алисов и др. «Курс климатологии», Гидрометиздат, 1952; Л. С. Берг «Основы климатологии», Учпедгиз, 1938; А. Н. Лебедев «Климат СССР», вып. 1, Гидрометиздат, 1958. В этих книгах все вопросы климатологии рассматриваются на основе изучения отдельных элементов. Поэтому особое значение имеет книга Е. Е. Федорова и А. П. Виранова «Климат равнины европейской части СССР в погодах», написанная по методам комплексной климатологии.

Климатологические справочники в настоящее время изданы по всем областям и краям Советского Союза. При пользовании ими следует обращать внимание, к какому уровню относятся публикуемые данные.

Во многих случаях это уровень 2 м над земной поверхностью или уровнем моря. Данные для этих уровней могут существенно

отличаться от данных для уровня реального расположения культур на поле. Например, сроки наступления и окончания периода заморозков, вычисленные по наблюдениям на уровне 2 м, могут значительно расходиться со сроками, вычисленными для приземного слоя.

Климатические особенности данной местности следует изучать также по наблюдениям ближайших метеорологических станций. Необходимо установить связь с областным или краевым управлением гидрометеорологической службы, а также с кафедрой метеорологии ближайшего сельскохозяйственного института. В этих учреждениях могут быть материалы по климату данной местности.

Микроклиматические особенности территории хозяйства могут быть установлены только путем непосредственного изучения; для этого проводят систематические ветровые и снегомерные съемки, измеряют температуру и влажность почвы, изучают сток, определяют радиационный режим отдельных полей, склонов и т. д.

Все данные по климату места и микроклиматическим особенностям хозяйства должны быть оформлены в виде таблиц и графиков. Полезно иметь, например, графики повторяемости отдельных направлений ветра, хода температуры и влажности воздуха и почвы, повторяемости отдельных типов погод, чисел часов солнечного сияния, сроков наступления заморозков в приземном слое воздуха, повторяемости осадков, их интенсивности и других элементов.

Правильно организованная агрометеорологическая работа может оказать большую помощь хозяйству, содействовать повышению урожайности культур и снижению потерь при уборке и хранении урожая.

В животноводческих хозяйствах агрометстанции могут оказать большую помощь на отгонных пастбищах, а также при перегонах скота.

Результаты агрометеорологической работы помогут агроному при решении таких вопросов, как установление сроков сева, полива, уборки урожая, установление очередности сельскохозяйственных работ, распределение культур по полям в соответствии с их приспособляемостью к условиям внешней среды, разработка планов агромелиоративных мероприятий и многих других важных производственных вопросов.

Полезно, которую может принести хозяйству хорошо поставленная агрометеорологическая работа, во много раз может превышать затраты средств на ее организацию и содержание.

Максимальная упругость водяного пара над водой  
(в миллибарах)

Целые градусы	Десятые доли градуса				
	0	2	4	6	8
0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5
1	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0
2	7,0	7,2	7,3	7,3	7,5
3	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0
4	8,1	8,2	8,4	8,5	8,6
5	8,7	8,8	9,0	9,1	9,2
6	9,4	9,5	9,6	9,7	9,9
7	10,0	10,2	10,3	10,4	10,6
8	10,7	10,9	11,0	11,2	11,3
9	11,5	11,6	11,8	12,0	12,1
10	12,3	12,4	12,6	12,8	13,0
11	13,1	13,3	13,5	13,7	13,8
12	14,0	14,2	14,4	14,6	14,8
13	15,0	15,2	15,4	15,6	15,8
14	16,0	16,2	16,4	16,6	16,8
15	17,1	17,3	17,5	17,7	18,0
16	18,2	18,4	18,7	18,9	19,1
17	19,4	19,6	19,9	20,1	20,4
18	20,6	20,9	21,2	21,4	21,7
19	22,0	22,3	22,5	22,8	23,1
20	23,4	23,7	24,0	24,3	24,6
21	24,9	25,2	25,5	25,8	26,1
22	26,5	26,8	27,1	27,4	27,8
23	28,1	28,5	28,8	29,2	29,5
24	29,9	30,2	30,6	31,0	31,3
25	31,7	32,1	32,5	32,9	33,2
26	33,6	34,0	34,4	34,9	35,3
27	35,7	36,1	36,5	37,0	37,4
28	37,8	38,3	38,7	39,2	39,6
29	40,1	40,6	41,0	41,5	42,0
30	42,5	43,0	43,5	44,0	44,5

Пример. Определить максимальную упругость водяного пара при температуре  $10^{\circ},5$ .

Таблица показывает, что при  $10^{\circ},4$  максимальная упругость 12,6 мм, при  $10^{\circ},6$  — 12,8 мм. Следовательно, при  $10^{\circ},5$  максимальная упругость будет 12,7 мм.

Вес насыщающего водяного пара, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> воздуха (в г)

Целые градусы	Десятые доли градуса				
	0	2	4	6	8
0	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1
1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5
2	5,6	5,6	5,7	5,8	5,9
3	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3
4	6,4	6,4	6,5	6,6	6,7
5	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2
6	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7
7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2
8	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7
9	8,8	8,9	9,0	9,2	9,3
10	9,4	9,5	9,6	9,8	9,9
11	10,0	10,1	10,3	10,4	10,5
12	10,7	10,8	10,9	11,1	11,2
13	11,3	11,5	11,6	11,8	11,9
14	12,1	12,2	12,4	12,5	12,7
15	12,8	13,0	13,1	13,3	13,5
16	13,6	13,8	14,0	14,1	14,3
17	14,5	14,7	14,8	15,0	15,2
18	15,4	15,6	15,7	15,9	16,1
19	16,3	16,5	16,7	16,9	17,1
20	17,3	17,5	17,7	17,9	18,1
21	18,3	18,6	18,8	19,0	19,2
22	19,4	19,7	19,9	20,1	20,3
23	20,6	20,8	21,1	21,3	21,5
24	21,8	22,0	22,3	22,5	22,8
25	23,0	23,3	23,6	23,8	24,1
26	24,4	24,7	24,9	25,2	25,5
27	25,8	26,1	26,3	26,6	26,9
28	27,2	27,5	27,8	28,1	28,5
29	28,8	29,1	29,4	29,7	30,0
30	30,4	30,7	31,0	31,4	31,7

П р и м е р. Определить вес насыщающего водяного пара в 1 м<sup>3</sup> при температуре 10°,5.

При 10°,4 вес насыщающего водяного пара 9,6 г; при температуре 10°,6—9,8 г. Следовательно, при 10°,5 вес насыщающего водяного пара равен 9,7 г.

П Р И Л О Ж Е Н И Е 3

Таблица для определения точки росы ( $P$ ) по значению упругости водяного пара (абсолютной влажности, в миллибарах)

$e$ (в мб)	$P$ (в °)	$e$ (в мб)	$P$ (в °)
1,3	-20	6,2—6,3	0
1,4	-19	6,4—6,7	1
1,5	-18	6,8—7,3	2
1,6	-17	7,4—7,8	3
1,9—1,8	-16	7,9—8,4	4
1,9	-15	8,5—9,0	5
2,0—2,1	-14	9,1—9,6	6
2,2—2,3	-13	9,7—10,3	7
2,4—2,5	-12	10,4—11,1	8
2,6—2,7	-11	11,2—11,8	9
2,8—2,9	-10	11,9—12,7	10
3,0—3,2	-9	12,8—13,5	11
3,3—3,4	-8	13,6—14,5	12
3,5—3,7	-7	14,6—15,4	13
3,8—4,0	-6	15,5—16,5	14
4,1—4,3	-5	16,6—17,6	15
4,4—4,7	-4	17,7—18,7	16
4,8—5,0	-3	18,8—20,0	17
5,1—5,4	-2	20,1—21,3	18
5,5—5,8	-1	21,4—22,6	19
5,9—6,1	-0	22,7—24,1	20

П р и м е р. Абсолютная влажность равна 14,1 мб. Из данных таблицы видно, что точка росы равна 12°.

П Р И Л О Ж Е Н И Е 4

Психрометрические таблицы

$t$  — сухой термометр;  $t'$  — смоченный термометр;  
 $e$  — абсолютная влажность;  $r$  — относительная влажность;  
 $d$  — дефицит влажности;  $n$  — поправочное число.

	$e$	$r$	$d$	$n$		$e$	$r$	$d$	$n$
$t$ \ / $t'$	5				$t$ \ / $t'$	6			
-1,0	0,9	10	7,8	19	0,0	1,3	14	8,1	19
0,0	2,1	25	6,6	16	1,0	2,6	28	6,8	15
+1,0	3,4	39	5,3	12	2,0	3,9	41	5,5	12
+2,0	4,7	54	4,0	9	3,0	5,2	56	4,2	9
+3,0	6,0	68	2,7	6	4,0	6,5	70	2,9	6
+4,0	7,3	84	1,4	3	5,0	7,9	85	1,5	3
+5,0	8,7	100	0,0	0	6,0	9,4	100	0,0	0

		e	r	d	n			e	r	d	n
<i>t'</i>	<i>t</i>	7				<i>t'</i>	<i>t</i>	8			
0,0		0,6	5	9,4	22	1,0	1,0	9	9,7	21	
1,0		1,8	18	8,2	18	2,0	2,3	21	8,4	18	
2,0		3,1	31	6,9	15	3,0	3,6	34	7,1	15	
3,0		4,4	44	5,6	12	4,0	4,9	46	5,8	11	
4,0		5,8	57	4,2	9	5,0	6,3	59	4,4	8	
5,0		7,1	71	2,9	6	6,0	7,8	72	2,9	5	
6,0		8,6	85	1,4	3	7,0	9,2	86	1,5	3	
7,0		10,0	100	0,0	0	8,0	10,7	100	0,0	0	
<i>t'</i>	<i>t</i>	9				<i>t'</i>	<i>t</i>	10			
2,0		1,5	13	10,0	21	3,0	2,0	16	10,3	20	
3,0		2,8	24	8,7	17	4,0	3,4	27	8,9	17	
4,0		4,2	36	7,3	14	5,0	4,8	39	7,5	14	
5,0		5,5	48	6,0	11	6,0	6,2	50	6,1	11	
6,0		7,0	61	4,5	8	7,0	7,6	62	4,7	8	
7,0		8,4	73	3,1	5	8,0	9,1	74	3,2	5	
8,0		9,9	87	1,6	3	9,0	10,7	87	1,6	2	
9,0		11,5	100	0,0	0	10,0	12,3	100	0,0	0	
<i>t'</i>	<i>t</i>	11				<i>t'</i>	<i>t</i>	12			
3,0		1,2	9	11,9	23	3,0	0,4	3	13,6	26	
4,0		2,6	20	10,5	20	4,0	1,8	13	12,2	22	
5,0		4,0	30	9,1	16	5,0	3,2	23	10,8	19	
6,0		5,4	41	7,7	13	6,0	4,6	33	9,4	16	
7,0		6,8	52	6,3	10	7,0	6,0	43	8,0	13	
8,0		8,3	64	4,8	8	8,0	7,5	54	6,5	10	
9,0		9,9	75	3,2	5	9,0	9,1	65	4,9	7	
10,0		11,5	88	1,6	2	10,0	10,7	76	3,3	5	
11,0		13,1	100	0,0	0	11,0	12,3	88	1,7	2	
						12,0	14,0	100	0,0	0	
<i>t'</i>	<i>t</i>	13				<i>t'</i>	<i>t</i>	14			
4,0		1,0	7	14,0	25	5,0	1,6	10	14,4	24	
5,0		2,4	16	12,6	22	6,0	3,0	19	13,0	21	
6,0		3,8	25	11,2	19	7,0	4,5	28	11,5	18	
7,0		5,2	35	9,8	16	8,0	6,0	37	10,0	15	
8,0		6,8	45	8,2	13	9,0	7,5	47	8,5	12	
9,0		8,3	55	6,7	10	10,0	9,1	57	6,9	10	
10,0		9,9	66	5,1	7	11,0	10,8	67	5,2	7	
11,0		11,5	77	3,5	5	12,0	12,4	78	3,6	5	
12,0		13,2	88	1,8	2	13,0	14,2	89	1,8	2	
13,0		15,0	100	0,0	0	14,0	16,0	100	0,0	0	



					e	r	d	n						e	r	d	n		
$\begin{matrix} t \\ \backslash \\ r' \end{matrix}$					15					$\begin{matrix} t \\ \backslash \\ r' \end{matrix}$					16				
					5,0	0,8	5	16,3	27						6,0	4,4	8	16,8	27
	6,0	2,2	13	14,9	24	7,0	2,9	16	15,3	23									
	7,0	3,7	21	13,4	21	8,0	4,4	24	13,8	20									
	8,0	5,2	30	11,5	18	9,0	5,9	33	12,3	17									
	9,0	6,7	39	10,4	15	10,0	7,5	41	10,7	14									
	10,0	8,3	49	8,8	12	11,0	9,2	50	9,0	12									
	11,0	10,0	58	7,1	9	12,0	10,8	60	7,4	9									
	12,0	11,6	68	5,5	7	13,0	12,0	69	5,6	7									
	13,0	13,4	78	3,7	4	14,0	14,4	79	3,8	4									
	14,0	15,2	89	1,9	2	15,0	16,3	89	1,9	2									
	15,0	17,1	100	0,0	0	16,0	18,2	100	0,0	0									
					e	r	d	n						e	r	d	n		
$\begin{matrix} t \\ \backslash \\ r' \end{matrix}$					17					$\begin{matrix} t \\ \backslash \\ r' \end{matrix}$					18				
					6,0	0,6	3	18,8	29						7,0	1,3	6	19,3	28
	7,0	2,1	11	17,3	26	8,0	2,8	13	17,8	25									
	8,0	3,6	18	15,8	23	9,0	4,3	21	16,3	22									
	9,0	5,1	26	14,3	20	10,0	5,9	29	14,7	19									
	10,0	6,7	35	12,7	17	11,0	7,6	37	13,0	16									
	11,0	8,4	43	11,0	14	12,0	9,3	45	11,3	13									
	12,0	10,1	52	9,3	11	13,0	11,0	53	9,6	11									
	13,0	11,8	61	7,6	9	14,0	12,8	62	7,8	8									
	14,0	13,6	70	5,8	6	15,0	14,7	71	5,9	6									
	15,0	15,5	80	3,9	4	16,0	16,6	80	4,0	4									
	16,0	17,4	90	2,0	2	17,0	18,6	90	2,0	2									
	17,0	19,4	100	0,0	0	18,0	20,6	100	0,0	0									
					e	r	d	n						e	r	d	n		
$\begin{matrix} t \\ \backslash \\ r' \end{matrix}$					19					$\begin{matrix} t \\ \backslash \\ r' \end{matrix}$					20				
					8,0	2,0	9	20,0	27						8,0	1,2	5	22,2	30
	9,0	3,5	16	18,5	24	9,0	2,7	12	20,7	27									
	10,0	5,1	23	16,9	21	10,0	4,3	19	19,1	24									
	11,0	6,8	31	15,2	18	11,0	6,0	26	17,4	21									
	12,0	8,5	39	13,5	16	12,0	7,7	33	15,7	18									
	13,0	10,2	46	11,8	13	13,0	9,4	40	14,0	15									
	14,0	12,0	55	10,0	11	14,0	11,2	48	12,2	13									
	15,0	13,9	63	8,1	8	15,0	13,1	56	10,3	10									
	16,0	15,8	72	6,2	6	16,0	15,0	64	8,4	8									
	17,0	17,8	81	4,2	4	17,0	17,0	73	6,4	6									
	18,0	19,9	90	2,1	2	18,0	19,1	81	4,3	4									
	19,0	22,0	100	0,0	0	19,0	21,2	91	2,2	2									
						20,0	23,4	100	0,0	0									



Общее число часов пребывания солнца над горизонтом

Месяцы	Число дней в месяце	Северная широта						
		30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Январь	31	321	310	297	282	263	238	215
Февраль	28	308	303	296	288	278	266	252
	29	319	313	306	298	288	276	264
Март	31	368	368	367	366	364	363	362
Апрель	30	384	389	395	402	410	419	429
Май	31	420	430	442	456	473	495	519
Июнь	30	417	429	444	461	482	510	540
Июль	31	425	436	449	465	484	509	539
Август	31	405	411	419	428	440	454	470
Сентябрь	30	366	367	368	370	372	374	376
Октябрь	31	350	345	340	334	326	317	310
Ноябрь	30	315	306	294	281	265	244	221
Декабрь	31	314	301	286	267	246	218	180

Психрометрические таблицы составлены для целых градусов. Поэтому показания термометров следует округлять по следующему правилу. Если десятых долей меньше 5, их следует отбросить; если 5, то взять четное число целых градусов; если больше 5, — к числу целых градусов прибавить единицу.

Пример. Сухой термометр аспирационного психрометра ( $t$ ) 22°; смоченного ( $t'$ ) 13°; давление воздуха ( $p$ ) 1010 мб. По сухому и смоченному термометрам находим поправочное число ( $n$ ), оно равно 19. В приложении 5 по поправочному числу ( $n$ ) и давлению воздуха ( $p$ ) находим поправку к смоченному термометру ( $\Delta t'$ ): она равна +1,6°. Прибавим ее к показанию смоченного термометра, получаем 13,6° и округляем до 14°.

По сухому термометру +22° и смоченному +14° находим: абсолютную влажность ( $e$ ) 9,6 мб, относительную ( $r$ ) 36%, дефицит влажности ( $d$ ) 16,9 мб.



Общее число часов пребывания солнца над горизонтом

Месяцы	Число дней в месяце	Северная широта						
		30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Январь	31	321	310	297	282	263	238	215
Февраль	28	308	303	296	288	278	266	252
	29	319	313	306	298	288	276	264
Март	31	368	368	367	366	364	363	362
Апрель	30	384	389	395	402	410	419	429
Май	31	420	430	442	456	473	495	519
Июнь	30	417	429	444	461	482	510	540
Июль	31	425	436	449	465	484	509	539
Август	31	405	411	419	428	440	454	470
Сентябрь	30	366	367	368	370	372	374	376
Октябрь	31	350	345	340	334	326	317	310
Ноябрь	30	315	306	294	281	265	244	221
Декабрь	31	314	301	286	267	246	218	180

Психрометрические таблицы составлены для целых градусов. Поэтому показания термометров следует округлять по следующему правилу. Если десятых долей меньше 5, их следует отбросить; если 5, то взять четное число целых градусов; если больше 5, — к числу целых градусов прибавить единицу.

Пример. Сухой термометр аспирационного психрометра ( $t$ ) 22°; смоченного ( $t'$ ) 13°; давление воздуха ( $p$ ) 1010 мб. По сухому и смоченному термометрам находим поправочное число ( $n$ ), оно равно 19. В приложении 5 по поправочному числу ( $n$ ) и давлению воздуха ( $p$ ) находим поправку к смоченному термометру ( $\Delta t'$ ); она равна +1,6°. Прибавляем ее к показанию смоченного термометра, получаем 13,6° и округлим до 14°.

По сухому термометру +22° и смоченному +14° находим: абсолютную влажность ( $e$ ) 9,6 мб, относительную ( $r$ ) 36%, дефицит влажности ( $d$ ) 16,9 мб.

П Р И Л О Ж Е Н И Е 5

Поправки к смоченному термометру ( $\Delta t$ )

Для аспирационного психрометра (все поправки со знаком +)											p	Для стационарного психрометра	
h	h	1	2	3	4	5	6	7	8	9		л от	до
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1030	0—8	0,0
10	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5		9—24	—0,1
20	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8		25—32	—0,2
30	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1020	0—12	0,0
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6		13—32	—0,1
20	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9			
30	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1010	0—25	0,0
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6		26—32	—0,1
20	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9			
30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1000	0—32	0,0
10	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6			
20	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0			
30	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	990	0—25	0,0
10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7		26—32	+0,1
20	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0			
30	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	980	0—12	0,0
10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7		13—32	+0,1
20	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1			
30	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	970	0—9	0,0
10	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7		10—24	+0,1
20	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1		25—32	+0,2
30	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5			

П Р И Л О Ж Е Н И Е 6

Таблица для перевода в миллибары давления, выраженного в миллиметрах

Целые миллиметры										
мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
700	933,2	934,6	935,9	937,2	938,6	929,2	941,2	942,6	943,9	945,2
710	946,6	947,9	949,2	950,6	951,9	953,2	954,6	955,9	957,2	958,6
720	959,9	961,2	962,6	963,9	965,2	966,6	967,9	969,2	970,6	971,9
730	973,2	974,6	975,9	977,2	978,6	979,9	981,2	982,6	983,9	985,2
740	986,6	987,9	989,2	990,6	991,9	993,2	994,6	995,9	997,2	998,6
750	999,0	1001,2	1002,6	1003,9	1005,2	1006,6	1007,9	1009,2	1010,6	1011,9
760	1013,2	1014,6	1015,9	1017,2	1018,6	1019,9	1021,2	1022,6	1023,9	1025,2
770	1026,6	1027,9	1029,2	1030,9	1031,9	1033,2	1034,6	1035,9	1037,2	1038,6
780	1039,9	1041,2	1042,6	1043,9	1045,2	1046,6	1047,9	1049,2	1050,6	1051,9
790	1053,2	1054,6	1055,9	1057,2	1058,6	1059,9	1061,2	1062,6	1063,9	1065,2

Добавочная таблица для перевода десятых долей миллиметров в миллибары

Десятые доли мм	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,0
Десятые доли ммб	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2

Определение среднесолнечного времени<sup>1</sup>

Среднесолнечное время легко рассчитать, пользуясь формулой:

$$C_{\text{н}} = D_{\text{н}} + d_{\text{н}} - H - 1 \text{ час,}$$

где  $C_{\text{н}}$  — искомое показание часов, идущих по среднесолнечному времени, на станции, расположенной в поясе с номером  $k$ ;

$D_{\text{н}}$  — время, даваемое передающей радиостанцией, находящейся в поясе с номером  $H$ . Если, например, сигнал подается из Москвы, находящейся во втором поясе, то  $H = 2$ ;

$d_{\text{н}}$  — выраженная в единицах времени географическая долгота станции, для которой определяется среднесолнечное время;

$H$  — номер пояса, в котором находится передающая станция, долгота среднего меридиана этого пояса, выраженная в целых часах.

Для второго пояса  $H = 2$  часа.

Рассмотрим числовой пример. Пусть географическая долгота агрометеорологической станции  $d_{\text{н}}$  равна 2 час. 37 мин.

Для проверки часов наблюдатель принял радиосигнал Москвы в 7 час. 30 мин. декретного времени второго пояса ( $H = 2$  часа).

Сколько времени в этот момент должны показывать часы наблюдателя, правильно идущие по среднесолнечному времени?

Подставив полученные данные в формулу, получим:

$$C_{\text{н}} = 7 \text{ час. } 00 \text{ мин.} + 2 \text{ часа } 37 \text{ мин.} - 2 \text{ часа} - 1 \text{ час} = 6 \text{ час. } 37 \text{ мин.}$$

Часы, правильно идущие по среднесолнечному времени, в момент сигнала из Москвы в 7 час. 00 мин. должны показывать 6 час. 37 мин., т. е. разница между декретным и среднесолнечным временем данной станции 23 мин.

Если наблюдения, например, решено проводить в 7 час. по среднесолнечному времени, то это значит, что их следует проводить в 7 час. 23 мин. по общегражданским часам, идущим по декретному времени.

Если наблюдения решено провести в 13 час. по среднесолнечному времени, то это значит, что их следует провести в 13 час. 23 мин. по общегражданским часам, и т. д.

Приведенной формулой можно воспользоваться, если станция, передающая сигналы времени, находится в любом другом поясе.

Принимая радиосигналы времени Москвы или любой другой станции и пользуясь приведенной выше формулой, легко поставить часы по среднесолнечному времени и систематически следить за правильностью их хода.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 8

## Определение направления полуденной линии север — юг (меридиана)

В каждом хозяйстве должно быть точно известно направление полуденной линии (север — юг). Это дает возможность точно определить ориентировку каждого наклонного поля. Знание направления меридиана может быть использовано при постройке теплиц, парников, жилых зданий, ферм, для наддукающей ориентировки их, а также при определении направления рядового сева, которое оказывает большое влияние на количество и качество урожая.

Если имеются часы, идущие по среднесолнечному времени, то определить направление полуденной линии — дело простое. Для этого следует от среднесолнечного времени перейти к истинному солнечному времени. В полдень

<sup>1</sup> В. И. Виткевич. Практические занятия по сельскохозяйственной метеорологии. Сельхозгиз, М., 1962.

по истинно солнечному времени тень от вертикально поставленного шеста направлена точно по меридиану.

Не останавливаясь на обосновании, приведем простейшие приемы определения истинно солнечного времени и направления полученной линии (меридиана).

Показания часов, дающих среднесолнечное время, которое обозначим буквой *C*, легко перевести в истинное солнечное время, которое обозначим буквой *И*. Для этого достаточно из показания часов *C* вычесть величину *У*, взятую из таблицы «Уравнение времени» приложения 9.

При переходе от *И* к *C* поправка прибавляется к *И* со знаком, показанным в таблице; при переходе от *C* к *И* поправка вычитается.

**П р и м е р.** Допустим, что 20 июля часы по среднесолнечному времени показывают 11 час. 26 мин. (*C*); чтобы определить, сколько времени в этот же момент показывают часы, идущие по истинно солнечному времени *И*, надо из *C* вычесть *У*, взятое из таблицы и равное 6 мин.

Истинно солнечное время *И* будет равно:

$$И = C - У,$$

или

$$И = 11 \text{ час. } 26 \text{ мин.} - 6 \text{ мин.} = 11 \text{ час. } 20 \text{ мин.}$$

Так же просто можно совершить обратный переход от *И* к *C*. Для этого следует к показанию времени *И* прибавить *У*, т. е. воспользоваться формулой:

$$C = И + У.$$

**П р и м е р.** 15 мая часы, идущие по истинно солнечному времени, показывают ровно 12 час.; это значит, что солнце находится точно на юге в направлении полуденной линии. Чтобы определить, сколько времени в этот момент показывают часы, идущие по среднесолнечному времени *C*, достаточно к *И* прибавить *У*, взятое из таблицы. Получим:

$$C = 12 \text{ час. } 00 \text{ мин.} + (-4 \text{ мин.}) = 11 \text{ час. } 56 \text{ мин.}$$

Значит, в момент, когда солнце 15 мая проходит через меридиан, часы, идущие по среднесолнечному времени, показывают 11 час. 56 мин.

Итак, принимая радиосигналы времени, легко любые часы поставить по среднесолнечному времени. Пользуясь приведенной ниже таблицей, можно среднесолнечное время перевести в истинно солнечное время.

Если имеются часы, показывающие истинно солнечное время, то определить направление полуденной линии север — юг меридиана очень просто. Для этого достаточно поставить по отвесу вертикально высокий ровный шест; в 12 час. 00 мин. по истинно солнечному времени тень от шеста будет направлена точно по меридиану, так же по меридиану будет направлена тень от фабричной трубы, от угла здания и т. п.

Изложенными выше приемами можно в любом хозяйстве поставить часы по среднесолнечному времени и на любом месте территории определить направление полуденной линии (меридиана).



ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Уравнение времени ( $\mathcal{U}$  в минутах) для перехода от истинного солнечного времени к среднесолнечному времени и обратно

Месяц Число	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	3	14	13	4	-3	-2	4	6	0	-10	-16	-11
2	4	14	12	4	-3	-2	4	6	0	-11	-16	-11
3	4	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
4	5	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
5	5	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
6	6	14	11	3	-3	-2	4	6	-2	-12	-16	-9
7	6	14	11	2	-4	-1	5	6	-2	-12	-16	-9
8	7	14	11	2	-4	-1	5	6	-2	-12	-16	-8
9	7	14	11	2	-4	-1	5	6	-3	-13	-16	-8
10	8	14	10	1	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-7
11	8	14	10	1	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-7
12	8	14	10	1	-4	0	5	5	-4	-13	-16	-6
13	9	14	10	1	-4	0	5	5	-4	-14	-16	-6
14	9	14	9	0	-4	0	5	5	-4	-14	-16	-5
15	9	14	9	0	-4	0	5	4	-5	-14	-15	-5
16	10	14	9	0	-4	0	6	4	-5	-14	-15	-4
17	10	14	9	0	-4	1	6	4	-5	-15	-15	-4
18	11	14	8	-1	-4	1	6	4	-6	-15	-15	-4
19	11	14	8	-1	-4	1	6	4	-6	-15	-15	-3
20	11	14	8	-1	-4	1	6	3	-6	-15	-14	-3
21	11	14	7	-1	-4	1	6	3	-7	-15	-14	-2
22	12	14	7	-1	-4	2	6	3	-7	-15	-14	-2
23	12	14	7	-2	-3	2	6	3	-8	-16	-14	-1
24	12	13	6	-2	-3	2	6	2	-8	-16	-13	-1
25	12	13	6	-2	-3	2	6	2	-8	-16	-13	0
26	13	13	6	-2	-3	3	6	2	-8	-16	-13	0
27	13	13	6	-2	-3	3	6	2	-9	-16	-12	1
28	13	13	5	-3	-3	3	6	1	-9	-16	-12	1
29	13	13	5	-3	-3	3	6	1	-10	-16	-12	2
30	13	13	5	-3	-3	3	6	1	-10	-16	-11	2
31	14	5	5	-3	-3	3	6	0	-10	-16	-11	3

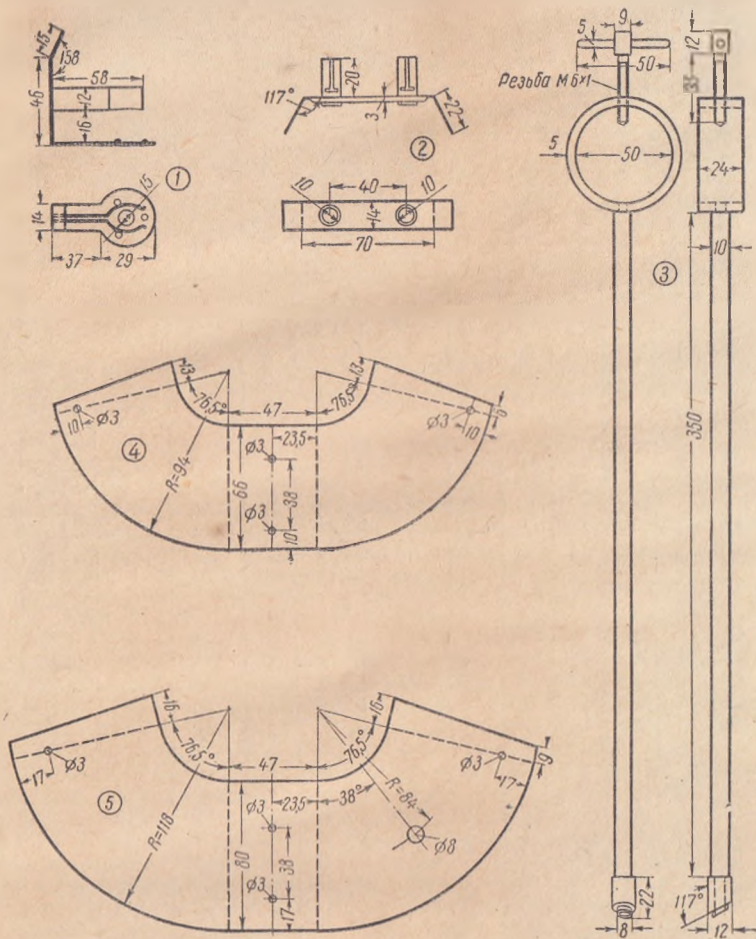
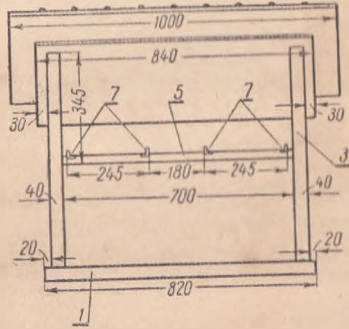
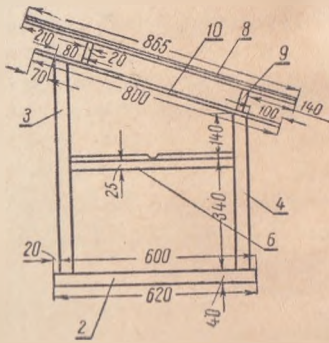
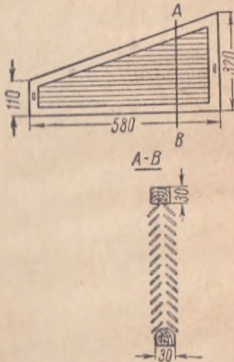


Рис. 126. Фитонсихрометр (технический чертеж).



Жалюзи боковая  
навесная



Общий вид навеса

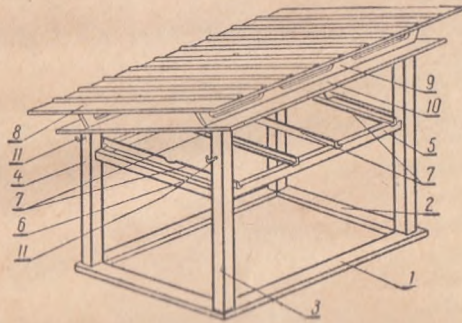


Рис. 127. Навес (технический чертёж).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Определение сельскохозяйственной метеорологии; ее содержание . . . . .	3
2. Краткая история возникновения сельскохозяйственной метеорологии . . . . .	5
3. Организация метеорологической службы в СССР . . . . .	9
<b>Г л а в а I. Атмосфера и ее физические свойства . . . . .</b>	<b>11</b>
1. Состав атмосферы . . . . .	11
2. Состав почвенного воздуха . . . . .	13
3. Газообмен почвенного воздуха с приземным слоем воздуха атмосферы . . . . .	14
4. Значение отдельных составных частей воздуха для сельского хозяйства . . . . .	15
5. Вес воздуха и его плотность . . . . .	19
6. Давление воздуха (статика) . . . . .	20
7. Изменение давления воздуха с высотой. Формула барометрического нивелирования . . . . .	22
8. Барометрическое нивелирование . . . . .	22
9. Распределение давления воздуха с высотой . . . . .	23
10. Распределение давления воздуха по горизонтали. Горизонтальный барический градиент . . . . .	24
11. Приборы для измерения давления воздуха . . . . .	26
12. Теплоемкость воздуха . . . . .	28
13. Теплопроводность воздуха. Понятие о турбулентном движении . . . . .	29
14. Вертикальное строение атмосферы . . . . .	31
15. Методы исследования атмосферы . . . . .	33
<b>Г л а в а II. Солнечная радиация . . . . .</b>	<b>36</b>
1. Солнечная радиация — основной источник энергии . . . . .	36
2. Влияние солнечной радиации на рост и развитие растений и животных. Дополнительное облучение . . . . .	37
3. Состав солнечной радиации. Три основные части спектра . . . . .	41
4. Физиологическая радиация . . . . .	44
5. Закон ослабления прямой солнечной радиации при прохождении ее через атмосферу . . . . .	46
6. Распределение энергии по спектру. Спектральный состав прямой солнечной радиации при различных высотах солнца . . . . .	50

7. Влияние угла наклона солнечных лучей к облучаемой поверхности на количество получаемой ею солнечной энергии . . . . .	53
8. Рассеяние солнечной радиации в атмосфере . . . . .	55
9. Сумерки . . . . .	57
10. Приборы для измерения солнечной радиации . . . . .	60
Компенсационный пиргелиометр . . . . .	60
Актинометр термометрический . . . . .	62
Термоэлектрический актинометр Иппиевского . . . . .	62
Пиранометр . . . . .	64
Альбедометр . . . . .	66
Балансометр . . . . .	66
Гелиограф . . . . .	67
Фотоэлементы, Люксметр . . . . .	68
11. Альbedo . . . . .	72
12. Эффективное излучение . . . . .	73
13. Некоторые результаты измерений эффективного излучения . . . . .	74
14. Баланс лучистой энергии . . . . .	76
15. Годовой и суточный ход интенсивности прямой солнечной радиации . . . . .	77
16. Освещенность . . . . .	80

**Глава III. Регулирование количества солнечной радиации, получаемой растением в полевых условиях. Техническое использование солнечной радиации . . . . .** 83

1. Различные способы регулирования солнечной радиации . . . . .	83
2. Количество солнечной радиации, падающей на плоскость любого наклона и ориентировки . . . . .	83
3. Направление сева . . . . .	86
4. Техническое использование солнечной энергии . . . . .	91
5. Пути использования прямой солнечной энергии. «Горячий ящик» . . . . .	92
6. Методы использования солнечной энергии с предварительной концентрацией ее . . . . .	94
7. Использование солнечной энергии при помощи фотоэлементов . . . . .	95
8. Трудности при использовании прямой солнечной радиации . . . . .	95

**Глава IV. Тепловой режим почвы. . . . .** 97

1. Значение температуры почвы для сельского хозяйства . . . . .	97
2. Тепловые характеристики различных почв . . . . .	99
3. Теплопроводность почвы . . . . .	99
4. Температуропроводность почвы . . . . .	100
5. Методы измерения температуры почвы . . . . .	102
6. Тепловой баланс почвы . . . . .	106
7. Источники тепла, заложенные в земной коре . . . . .	107
8. Температурный режим поверхностного слоя почвы . . . . .	109
9. Замерзание и оттаивание почвы . . . . .	110
10. Передача температурных колебаний в глубь почвы . . . . .	111
11. Термоизолеты . . . . .	114
12. Влияние растительного покрова на тепловой режим почвы . . . . .	116

13. Влияние леса на температуру почвы . . . . .	118
14. Влияние на температуру почвы снежного покрова . . . . .	119
15. Искусственная снеговая покровка . . . . .	121
16. Воздействие на температурный режим почвы при помощи искусственных покрытий и утепления грунта . . . . .	122
17. Использование отбросного топлива . . . . .	123
18. Тепловой режим различно наклоненных и различно ориентированных поверхностей почвы . . . . .	124
19. Нагревание и охлаждение воды . . . . .	127
20. Вечная мерзлота . . . . .	129
<b>Глава V. Вода в атмосфере и в почве . . . . .</b>	<b>132</b>
1. Атмосферная влага и ее значение в сельском хозяйстве . . . . .	132
2. Насыщающие водяные пары . . . . .	132
3. Единицы измерения влажности . . . . .	135
4. Приборы для измерения влажности воздуха . . . . .	136
5. Изменение влажности воздуха с высотой . . . . .	141
6. Годовой и суточный ход абсолютной и относительной влажности . . . . .	142
7. Географическое распределение абсолютной и относительной влажности . . . . .	143
8. Испарение . . . . .	144
9. Испарение с поверхности почвы . . . . .	146
10. Методы измерения испарения с поверхности почвы . . . . .	148
11. Испарение с поверхности растений . . . . .	152
12. Влияние влажности почвы и скорости ветра на величину испарения с поверхности почвы . . . . .	154
13. Суточный и годовой ход испарения . . . . .	155
14. Конденсация водяных паров . . . . .	155
15. Роса, иней . . . . .	157
16. Изморозь . . . . .	158
17. Гололед . . . . .	159
18. Туман . . . . .	161
19. Конденсация при смешении различных воздушных масс . . . . .	162
20. Конденсация водяного пара при адиабатическом охлаждении воздушной массы . . . . .	162
21. Облака . . . . .	163
22. Наблюдения над облаками . . . . .	177
23. Осадки . . . . .	178
24. Влияние леса на осадки и снежный покров . . . . .	181
25. Методы измерения осадков . . . . .	183
26. Значение осадков для сельского хозяйства . . . . .	189
27. Снегозадержание . . . . .	190
28. Снегозадержание и повышение урожайности . . . . .	196
29. Отрицательное действие снежного покрова . . . . .	198
30. Влияние леса на таяние снега и сток . . . . .	199
31. Вода в почве. Фильтрация, сток, конденсация . . . . .	200

32. Методы определения влажности почвы . . . . .	202
33. Управление влагосодержанием почвы . . . . .	202
<b>Г л а в а VI. Тепловой режим воздуха . . . . .</b>	<b>204</b>
1. Значение температуры воздуха для сельского хозяйства . . . . .	204
2. Методы измерения температуры воздуха . . . . .	205
3. Установки для измерения температуры воздуха . . . . .	208
4. Установки для измерения температуры в приземном слое воздуха и среди культур . . . . .	210
5. Нагревание и охлаждение атмосферы . . . . .	211
6. Распределение температуры воздуха с высотой и свободной атмосфере. Вертикальная устойчивость атмосферы. . . . .	213
7. Приземный слой воздуха; распределение в нем температуры . . . . .	215
8. Распределение температуры среди растительности . . . . .	218
9. Суточный ход температуры воздуха. Влияние рельефа . . . . .	220
10. Влияние леса на суточную амплитуду температуры воздуха . . . . .	221
11. Годовой ход температуры воздуха . . . . .	221
12. Микротермические колебания в приземном слое воздуха . . . . .	222
13. Оценка температурных условий данной местности. Суммы температур . . . . .	223
14. Вертикальные движения в атмосфере . . . . .	229
<b>Г л а в а VII. Ветер . . . . .</b>	<b>233</b>
1. Ветер как источник энергии . . . . .	233
2. Методы и приборы для измерения скорости и направления ветра	237
Ручной анемометр . . . . .	237
Флюгер Вильда . . . . .	239
3. Отклоняющее действие вращения Земли . . . . .	241
4. Сила трения. Распределение скорости ветра в приземном слое воздуха . . . . .	244
5. Бризы . . . . .	247
6. Горно-долинные ветры . . . . .	248
7. Муссоны . . . . .	249
8. Пассаты. Общая циркуляция атмосферы . . . . .	249
9. Роза ветров . . . . .	251
<b>Г л а в а VIII. Засухи и суховеи . . . . .</b>	<b>252</b>
1. Почвенная и атмосферная засуха . . . . .	252
2. Суховеи . . . . .	254
3. Борьба с засухами и суховеями . . . . .	257
4. Полезащитная полоса . . . . .	261
5. Расстояние, на которое действует лесная полоса . . . . .	264
6. Влияние лесной полосы на распределение температуры и влажности воздуха, на испарение . . . . .	265
7. Биологические методы борьбы с засухами . . . . .	265

Глава IX. Заморозки и борьба с ними . . . . .	267
1. Чувствительность растений к заморозкам . . . . .	267
2. Различные виды заморозков . . . . .	267
3. Радиационные заморозки . . . . .	268
4. Адвективные и адвективно-радиационные заморозки . . . . .	269
5. Предсказание заморозков . . . . .	270
6. Метод непрерывного наблюдения . . . . .	274
7. Методы борьбы с заморозками . . . . .	277
8. Подготовка и проведение работ по борьбе с заморозками . . . . .	282
9. Сигнализаторы . . . . .	283
Глава X. Предсказание погоды . . . . .	285
1. Синоптическая карта . . . . .	285
2. Воздушные массы, их свойства и классификация . . . . .	287
3. Трансформация воздушных масс . . . . .	288
4. Фронт . . . . .	289
5. Теплый фронт . . . . .	289
6. Холодный фронт . . . . .	292
7. Возникновение и развитие циклона . . . . .	293
8. Погода в циклонах . . . . .	299
9. Антициклон и погода в нем . . . . .	299
10. Понятие о методах предсказания погоды . . . . .	300
11. Предсказание погоды по местным признакам . . . . .	302
12. Местные признаки установившейся хорошей погоды . . . . .	303
13. Признаки приближения и развития грозы . . . . .	306
14. Признаки приближения ненастной погоды . . . . .	307
15. Признаки восстановления хорошей погоды . . . . .	309
Глава XI. Основы климатологии . . . . .	310
1. Погода и климат . . . . .	310
2. Основные факторы климатообразования . . . . .	310
3. Распределение по территории СССР важнейших элементов климата . . . . .	314
4. Микроклимат . . . . .	319
5. Классификация климатов . . . . .	321
6. Различные способы характеристики климата . . . . .	326
7. Комплексная характеристика погоды . . . . .	328
8. Основные черты климата различных областей СССР . . . . .	329
9. Кольский полуостров . . . . .	330
10. Карелия . . . . .	333
11. Северо-восточная часть европейской территории СССР . . . . .	334
12. Средняя полоса европейской территории СССР . . . . .	334
13. Степи юга европейской территории СССР . . . . .	337
14. Крымский полуостров . . . . .	339
15. Климаты Кавказа . . . . .	339
16. Средняя Азия . . . . .	343
17. Западная Сибирь . . . . .	347



18. Восточная Сибирь . . . . .	348
19. Дальний Восток . . . . .	350
20. Методы агроклиматического районирования . . . . .	352
<b>Г л а в а XII. Агрометеорологическая работа в производственных условиях . . . . .</b>	<b>355</b>
1. Задачи агрометеорологического обслуживания . . . . .	355
2. Изучение территории хозяйства . . . . .	355
3. Организация агрометеорологических наблюдений . . . . .	356
4. Изучение климата и микроклимата данного места . . . . .	363
Максимальная упругость водяного пара над водой (в миллибарах), <i>приложение 1</i> . . . . .	365
Вес насыщающего водяного пара, содержащегося в 1 м <sup>3</sup> воздуха (в г), <i>приложение 2</i> . . . . .	366
Таблица для определения точки росы ( <i>P</i> ) по значению упругости водяного пара (абсолютной влажности, в миллибарах), <i>приложение 3</i> . . . .	367
Психрометрические таблицы, <i>приложение 4</i> . . . . .	367
Поправки к смоченному термометру, <i>приложение 5</i> . . . . .	372
Таблица для перевода в миллибары давления, выраженного в миллиметрах, <i>приложение 6</i> . . . . .	372
Определение среднесолнечного времени, <i>приложение 7</i> . . . . .	373
Определение направления полуденной линии север — юг (меридиана), <i>приложение 8</i> . . . . .	373
Уравнение времени ( <i>U</i> в минутах) для перехода от истинного солнечного времени к среднесолнечному времени и обратно, <i>приложение 9</i>	375

**Виткевич В. И.**

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ.** Изд. второе, перераб.  
М., изд-во «Колос», 1966.  
383 с. (Учебники и учеб. пособия для высших с.-х. учеб. заведений).

УДК 630 : 551.5/0,75 : 8/

Редактор **М. Г. Быкова.**

Художник **В. П. Иванов.**

Художественный редактор **Н. М. Коровина.**

Технический редактор **В. М. Деева.**

Корректор **А. М. Якушева.**

Сдано в набор 13/XI 1965 г. Подписано к печати 31/III 1966 г. Т03976. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 24+1 вкл. Уч.-изд. л. 23,5. Изд. № 87. Т. п. 1966 г. № 263. Тираж 28 000 экз. Заказ № 45.  
Цена 82 коп.

Издательство «Колос», Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» имени А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, Гатчинская, 26,