

# Дорожная Климатология

ОГИЗ  
ГОСТРАНСИЗДАТ  
1935

НБ  
УДУНТ  
(ДНТ)



1984

551.5  
Д6 Доб. 626 и 55

С. Л. Бастамов, Н. Н. Изюмов, И. А. Клемин,  
В. И. Морошкин и М. И. Сумгин

67

55/6

Д 65

# Дорожная климатология

Под редакцией  
проф. С. Л. Бастамова и М. И. Сумгина

Утверждено Цудортрансом  
в качестве учебника  
для автомобильно-дорожных институтов

8027-95

ПРОВЕРЕНО 1967

ИСТОЧ

№ 24940



Государственное транспортное издательство  
Москва 1935 Ленинград

НБ  
удунт  
(ДПТ)



**„Дорожная климатология“ представляет собою учебник для автомобильно-дорожных институтов, написанный по программе институтов и утвержденный комиссией учебников Цудортранса.**

**Книга состоит из двух частей. Общая часть: понятие о метеорологических элементах; синоптическая метеорология; основы климатологии. Специальная часть: основы снегоборьбы; пучины на дорогах; вечная мерзлота и наледи; распутица и дорожно-синоптическая служба.**

Редактор *Н. П. Ермолов.*

Техн. ред. *С. А. Девкин.*

Уполном. Главлита В-26833. ОГИЗ 3176. Т-11. Зак. тип. 2336. Тираж 1500 экз.

Размер бумаги  $62 \times 94 \frac{1}{16}$ . Печ. л. 9,75. Печ. зн. в 1 печ. л. 52000. Уч. л. 12.

Сдано в набор 4/VII 1935 г. Подписано к печати 15/IX 1935 г.

Цена 2 р. 50 к. Переплет 1 р. 20 к.

1-я Образцовая тип. Огиза РСФСР треста «Полиграфкнига». Москва, Валовая, 28.



Запроектированное увеличение общей дорожной сети более чем на 200 тысяч километров, развернутое строительство сети грунтовых и шоссейных дорог должны в основном ликвидировать бездорожье и связать совхозы и колхозы с различными районами мощнейших промышленных центров СССР.

Наряду с новым строительством дорог должно быть значительно улучшено содержание и эксплуатация уже имеющихся. Решающим условием технической реконструкции и освоения техники является подготовка квалифицированных рабочих, техников и инженеров.

Углубленное изучение чисто инженерных наук должно развиваться на базе как точных наук (математики, физики и механики), так и наук смешанных, дающих специалисту возможность более широкого подхода к изучаемой специальности. Одной из дисциплин, тесно связанных с постройкой и эксплуатацией безрельсовых путей сообщения, является климатология и метеорология. Достаточно одного взгляда на карту СССР, охватывающего огромные области, начиная с побережья Ледовитого океана до влажных и сухих субтропиков, чтобы уяснить разнообразие климатических и почвенных условий, в которых приходится инженеру строить и поддерживать в порядке безрельсовый путь.

Необходимость для автодорожников достаточно разносторонних знаний погоды и климата становится очевидной из анализа понятия «проезжаемости» дорог.

Состояние полотна дороги существенно и своеобразно зависит от условий погоды и климата. Основным фактором является взаимодействие выпадающих осадков с материалом полотна дороги, создающее его загрязнение и процесс высыхания, т. е. испарения влаги. Эти процессы прежде всего зависят от количества капельно жидких и твердых осадков, от времени и характера их выпадения, т. е. от специфики зим, создающих запасы весенней влаги, повторяемости коротких или продолжительных дождей, снегопадов. Процесс испарения еще сложнее — существенную роль в нем играют температура воздуха и почвы, — в частности, условия ее замерзания и разморозки, — влажность воздуха, скорость ветра и солнечная инсоляция.

С этой точки зрения особенно опасные для автотранспорта метеорологические явления — метели, ливни, гололед — могут рассматриваться как условия, делающие путь непроходимым.

Перечисленные свойства воздуха и почвы и составляют погодные и климатические особенности местности. Для целей автотранспорта это изучение необходимо вести в строгом соответствии со специфическими условиями данного производства.

Климатические условия полотна автодороги во многом существенно отличаются от условий окружающей дорожную местность.

Температура, промерзаемость, влажность, условия отложения снега и другие характеристики представляют ряд своеобразий. Мы увидим



впоследствии, что полотно дороги представляет собой особое сочетание так называемых микроклиматических условий, требующих пристального изучения.

В вопросах планирования автоперевозок должны быть учтены особенности климата, например типичное время наступления и продолжения распутицы, вскрытия и замерзания рек, наибольшая вероятность метелей, предстоящие расходы по снегоочистке и снегоборьбе в связи с многолетними наблюдениями.

Выработка плана сменяется борьбой за реальное его осуществление в погодных условиях текущего сезона. При этом обычные и специальные наблюдения сети станций, учитывающих реальные особенности текущего сезона, долго- и краткосрочные предсказания погоды, должны играть существенную роль в оперативном руководстве и обеспечении конкретного осуществления намеченного плана автогужевых перевозок.

Настоящий учебник составлен в соответствии с программами преподавания дорожной климатологии, утвержденными КВТО. Книга распадается на разделы: простейшие метеорологические наблюдения, строение и физические свойства атмосферы, синоптическая метеорология, начала климатографии СССР, физико-метеорологические свойства почво-грунтов, а также излагает некоторые специальные разделы — снегоборьба, изучение и меры борьбы с пучинами и вечно-мерзлыми грунтами и дорожная синоптика.

НБ  
удунт  
(ДІІТ)



## ВВЕДЕНИЕ

Климатология и метеорология, составляющие предмет настоящей книги, являются важнейшими отделами геофизики.

Геофизика представляет собой совокупность научных дисциплин, изучающих физические явления, происходящие в оболочках земного шара: твердой (литосфере), жидкой (гидросфере) и газообразной (атмосфере).

Геофизика в настоящее время подвергается серьезным методологическим изменениям, связанным с предъявляемыми к ней новыми требованиями.

Вместо прежних, зачастую оторванных от жизни, построений науки в настоящее время ставятся конкретные требования производства. Эти требования необходимо удовлетворять полностью и в кратчайший срок. Разработка заданий должна вестись на обоснованной строго научной базе, без упрощенческих подходов и вульгаризации.

Геофизические, в частности метеорологические наблюдения, в дореволюционной России были начаты сравнительно давно — в половине прошлого столетия. В течение 50—60 лет была развита большая сеть метеорологических станций, объединенная научным руководством Главной физической обсерватории и рядом местных обсерваторий (Свердловск, Иркутск, Ташкент, Тифлис и др.). Эти учреждения кроме систематизации и обработки наблюдательного материала вели еще и научно-исследовательскую работу.

С развитием промышленного капитала уже начала сказываться оторванность общегосударственной метеорологической службы от жизненных запросов. Непосредственно связанные с производством — министерство земледелия, Главное гидрографическое управление, передовые, по тогдашним временам, земства и т. п. оказались вынужденными организовать собственные метеорологические сети, опытные и центральные станции, в которых налаживалась более близкая к запросам жизни работа.

В условиях капиталистического производства эти станции весьма скоро превратились в бесплановые геофизические организации, ведущие параллельную работу. В 1914 г. в Крыму, например, оказалось 14 различных организаций, ведущих свои метеорологические наблюдения, независимо и несогласованно друг с другом.

Социалистическая революция принесла с собой плановость научно-исследовательской работы.

Грандиозное развитие социализма предъявило в свою очередь к геофизике ряд требований.

Вместо прежней разрозненной, несогласованной работы отдельных министерств, ведомств и организаций в настоящее время всеми гидрометеорологическими исследованиями руководит единая организация — ЦУЕГМС, направляющая как научно-исследовательскую, так и оперативно-обслуживающую работу.



Усложненность и детальность требований, предъявленных к геофизике производством, поставили вопрос о выработке общей методики современных геофизических работ. Дореволюционная геофизика и в частности ее обширные главы — метеорология и климатология — основывали свои выводы лишь на обширном наблюдательном материале, собираемом на метеорологических обсерваториях и станциях. В дальнейшем этот материал подвергался математической обработке (математическая статистика), но далеко не всегда осваивался на базе физически-правильных представлений. Широкому внедрению физического анализа метеорологических и климатологических явлений препятствовало отчасти и то обстоятельство, что в геофизике почти отсутствовал основной для физики лабораторно-экспериментальный метод. Экспериментальные работы в геофизике велись спорадически и не являлись непременной частью изучения вопроса. Только за последнее время советскими климатологами разработан метод лабораторно-метеорологических работ (лаборатории искусственного климата), позволяющий воспроизводить принципиально любые погодные и климатические условия в лабораторной обстановке. Вместе с дальнейшей разработкой и усовершенствованием экспериментом метеорология становится в ряд хорошо развитых естественно-исторических дисциплин, опирающихся при разрешении своих задач на диалектически дополняющий друг друга комплекс непосредственных наблюдений в природе, их лабораторную проработку и теоретическое изучение, подводящее под исследование необходимый базис точных наук.

С этой точки зрения вырисовывается достаточно ясная схема обслуживания геофизикой различных отраслей народного хозяйства, а вместе с тем и единственно целесообразный метод ее дальнейшего развития. Заметим, что с этой точки зрения всякое геофизическое исследование должно иметь целью или освоение некоторой энергии (использование силы ветра в ветряных двигателях, солнечной энергии, энергии внутренней теплоты земного шара), или изыскание мер борьбы с вредными погодными или климатическими явлениями, что особенно важно в дорожной геофизике (борьба со снежными заносами, пучинами, вечной мерзлотой и пр.).

Очевидно, что самое явление того или иного характера обнаруживается наблюдением или самих геофизиков или производственников (см. например главу о пучинах или снежных заносах). Затем изучается физика этого явления, разрабатывается его теория и явление проверяется в природе и в лабораторной обстановке, и на основании полученных закономерностей вырабатываются меры борьбы с его вредными действиями.

На этом этапе ведущая роль принадлежит геофизикам, однако уже и в этом периоде изучение явления комплексно: рядом с геофизиком должен стоять инженер пути или автодорожник. Выработанный проект мер нуждается в опытном испытании в природных условиях и носит название линейного опыта. От первоначальных наблюдений он отличается своей целеустремленностью и самые наблюдения являются целевыми.

В том случае, если опыты себя оправдывают, дальнейшим шагом является разработка стандарта (стандарт снеговой защиты, шлаковые подушки). В этом случае центр тяжести работ переходит к производственнику, который принимает ту или иную конструкцию как на основании



имеющегося научного материала, так и сообразуясь с различными техническими и экономическими сторонами вопроса.

Однако всегда в процессе работы появляются дополнительные, еще более углубленные и детализированные требования производства, разрешать которые приходится путем комплекса теорий, лабораторных работ и наблюдений в природе.

Этот процесс исследования во взаимодействии с запросами производства и является естественным двигателем развития науки. Чем полнее происходит процесс, тем больше и скорее внедряются в производство научные методы и тем больше в свою очередь производство оплодотворяет научные дисциплины.

Естественно, что в СССР этот процесс идет гигантскими шагами потому, что только у нас все развитие страны построено на приложении и использовании метода диалектического материализма, и в этом заключается несокрушимый залог успеха великой социалистической стройки СССР.

НБ  
удунт  
(дпт)







# **I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ**

---

## **ГЛАВА I**

### **ПОНЯТИЕ О МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ. ПРИБОРЫ, ИХ УСТАНОВКА**

#### **I. Метеорологические элементы и изучение их**

В толще атмосферы происходит ряд явлений, из которых одни длятся непрерывно, более или менее изменяясь во времени (например тепловые процессы), другие появляются спорадически (например осадки). Эти явления весьма тесно связаны между собою, но для удобства изучения их сначала рассматривают отдельно, а затем уже в их взаимоотношениях и взаимодействиях. Отдельные однородные явления в атмосфере принято называть метеорологическими элементами — таковы лучистая солнечная энергия, температура воздуха, влажность его, ветер, осадки, давление воздуха и т. д. Наука, изучающая все эти явления, называется метеорологией и составляет отдел геофизики. Почти во всех странах земного шара существуют сети метеорологических станций, разбросанных по стране; эти станции ведут наблюдения над всеми или только над некоторыми метеорологическими элементами. Наблюдения метеорологических станций объединяются центральным учреждением, которое обычно носит название обсерватории. В больших странах существуют промежуточные учреждения в отдельных областях, объединяющие наблюдения метеорологических станций своей области и подчиненные центральному учреждению. В нашем Союзе учреждением, объединяющим и планирующим метеорологическую службу (а также и гидрологическую), является Центральное управление единой гидрометеорологической службы СССР в Москве.

В отдельных союзных республиках есть республиканские гидрометуправления. Теоретическая научная работа ведется в геофизических обсерваториях, в крупных метеорологических местных учреждениях и на отдельных больших станциях. Метеорологические станции дают лишь материал для научных выводов и различных практических работ (служба погоды, служба урожая). Задачей всей службы в целом является изучать и изучить метеорологические элементы на всей территории страны и по возможности в большей толще атмосферы. Верхние слои атмосферы изучаются при помощи горных станций, специальных приборов, поднимаемых в воздух на змеях, а также при помощи специальных резиновых шаров, наполненных обычно водородом — шаров-зондов, если они опускаются с приборами, и шаров-пилотов, если без приборов, — наконец при помощи аэростатов и аэропланов, на которых устанавливаются при полетах метеорологические приборы.



На части общей метеорологической сети станций Союза изучаются, помимо общих, и специальные вопросы для нужд железных дорог и автотранспорта.

В автодорожном деле практический интерес представляет нижний слой воздуха, прилегающий к поверхности земли, так как в этом слое протекает вся деятельность дорожника как во время постройки дорог, так и при эксплуатации их. В равной, а пожалуй в большей мере, для дорожника интересно знать свойства верхних слоев грунта, так как грунт является или полностью материалом, из которого строится дорога, или основанием, на которое кладется одежда дороги. Например инженеру нужно добиться на грунтовых дорогах если не уничтожения, то хотя бы сокращения продолжительности распутицы. Для этого нужно знать количество осадков и их влияние на грунт полотна дороги, температуру и влажность воздуха, испарение влаги с дороги. С другой стороны, инженеру нужно добиться, чтобы дороги были беспыльны — и здесь без знания физических свойств воздуха и почвы не обойдешься.

## 2. Состав и основные свойства воздуха

Воздух можно рассматривать как оболочку земного шара и как газ. Как оболочка земного шара, воздух по вертикали делится на несколько слоев. Нижний — в средних широтах примерно до высоты 11 км — называется тропосферой. В этом слое воздух постоянно перемешивается, так как в нем наблюдается непрерывное движение его: восходящие и нисходящие токи, горизонтальные передвижения воздушных масс, вихри с вертикальными и горизонтальными осями. Как правило температура воздуха в тропосфере понижается с высотой примерно на  $0,5^\circ$  на 100 м высоты. В тропосфере происходит процесс оборота влаги в воздухе. Выше лежит стратосфера, которая простирается до высоты примерно 70 км. Вертикальные перемещения здесь отсутствуют, температура более или менее постоянна, около  $-55^\circ$ .

О строении и свойствах воздушной оболочки выше стратосферы мы мало знаем более или менее достоверного. Найденный предел атмосферы в высоту (до 750—1000 км<sup>1</sup>) определяется косвенными методами (по высоте загорания метеоритов, по затмению луны, полярному сиянию и т. д.).

Для инженеров местного транспорта нужно знание главным образом свойств тропосферы, тогда как инженерам воздушных сообщений необходимы знания и о стратосфере.

Если освободить воздух от водяных паров, углекислоты и всех примесей, то состав воздуха тропосферы выразится следующим образом:

|                | По объему: | По весу: |
|----------------|------------|----------|
| Азот _____     | 78,06%     | 75,50%   |
| Кислород _____ | 21,00%     | 23,20%   |
| Аргон _____    | 0,94%      | 1,30%    |

Этот состав одинаков во всех широтах земного шара и во всю толщу тропосферы благодаря перемешиванию воздушных масс в ней.

<sup>1</sup> Эта высота определена в самые последние годы.



Важной составной частью воздуха являются водяные пары, количество которых весьма изменчиво, так как при прочих равных условиях количество водяных паров в воздухе есть функция температуры: в жаркую влажную погоду оно может достигать 4% по объему, а при сильных холодах опускается почти до 0%. Углекислота  $\text{CO}_2$  содержится в воздухе в постоянном количестве — в среднем 0,03% по объему. В больших городах содержание углекислоты повышается до 0,04% и несколько более. В тесных жилых помещениях процент углекислоты может сильно возрасти, а так как повышение содержания углекислоты вредно для человека, то необходимо вентилировать жилые помещения. Количество углекислоты в воздухе в настоящее время сбалансировалось на указанной выше цифре: приход от вулканических извержений, выделения из почвы, от дыхания животных, сгорания топлива, гниения и т. д. уравновешивается поглощением углекислоты растениями, а главным образом водами океанов, являющихся регуляторами углекислоты. В геологической истории земли были эпохи, когда в воздухе были иные количества углекислоты.

Содержание других газов, входящих в состав воздуха (водород, неон, криптон и т. д.), в тропосфере исключительно ничтожно.

Кроме указанных газов в атмосфере имеется ряд примесей — жидких и твердых тел в мельчайших частицах. Из них мы остановимся на пыли и на галогидных соединениях по берегам морей и океанов. Для исследования пыли в воздухе служит прибор Айткена, при помощи которого можно определить число пылинок, содержащихся в определенном объеме воздуха. Принцип прибора основан на том, что при быстром расширении насыщенного парами воздуха часть паров переходит в жидкое состояние, вода осаждается на пылинках, которые, сделавшись тяжелее, падают вниз на стеклянную прозрачную пластинку, разделенную на квадратные миллиметры, на которой эти капельки и сосчитываются. Пыль может быть и неорганической и органической. Число пылинок в воздухе огромно: так Айткен, определяя число пылинок, нашел, что в  $1 \text{ см}^3$  воздуха в открытом месте после ночного дождя их содержалось 32 000 шт., а после сухой погоды — 130 000 пылинок. В комнатных условиях число пылинок доходит до миллионов на  $1 \text{ см}^3$  воздуха.

Дорожникам, которым приходится иметь дело с пылью на дорогах и бороться с ней, нужно уметь изучать это явление. Для изучения дорожной пыли прибор Айткена не всегда пригоден, так как он слишком тонкий прибор. Можно пользоваться пластинками стекла, намазанными например глицерином и помещенными в специальную трубочку, устанавливаемую, по желанию, и горизонтально и вертикально. Пыль на стекле или подсчитывается при помощи лупы или определяется взвешиванием.

Соли и кислоты, носящиеся в мельчайших частицах в воздухе по берегам океанов и морей, могут портить тонкие части приборов, что нужно иметь в виду при постановке различных наблюдений на дорогах у морей при помощи точных приборов.

### 3. Законы Бойль-Мариотта, Гей-Люссака и Дальтона в применении к атмосферному воздуху

Как газ, воздух подчиняется законам Бойль-Мариотта и Гей-Люссака. По первому объем данного количества газа обратно пропорциона-



лен производимому на него внешнему давлению (или упругость данного количества газа при данной температуре обратно пропорциональна его объему), если температура газа остается неизменною. Обозначая упругость воздуха, равную внешнему давлению, через  $p$ , а объем через  $v$ , имеем, при неизменной температуре, для данного количества воздуха:

$$pv = p_1 v_1 = \text{const.}$$

По закону Гей-Люссака коэффициент расширения воздуха, нагреваемого при неизменном внешнем давлении, равен

$$\alpha = \frac{1}{273} = 0,00366.$$

Пусть  $v_0$  — объем воздуха при  $0^\circ$ ,  $v_t$  при температуре  $t^\circ$ ; тогда

$$v_t = v_0(1 + \alpha t),$$

где

$$\alpha = 0,00366.$$

Из закона Бойль-Мариотта выходит, что плотность воздуха при постоянной температуре прямо пропорциональна внешнему давлению.

Пусть имеем объем  $v$  воздуха при давлении  $p$ ; плотность его  $d = \frac{m}{v}$ ; при давлении  $p_1$  объем будет  $v_1$  и плотность  $d_1 = \frac{m}{v_1}$ , где  $m$  есть масса взятого воздуха.

Подставляя значения  $v = \frac{m}{d}$  и  $v_1 = \frac{m}{d_1}$  в уравнение Бойль-Мариотта, имеем  $\frac{pm}{d} = \frac{p_1 m}{d_1}$ , откуда и находим  $\frac{p}{p_1} = \frac{d}{d_1}$

Из формулы Гей-Люссака легко находим

$$d_0 = d_t(1 + \alpha t),$$

где  $d_0$  и  $d_t$  — плотности газов при одном и том же давлении в температурах  $0^\circ$  и  $t^\circ$

Из уравнений Бойль-Мариотта и Гей-Люссака выводится уравнение Клапейрона

$$pv = RT,$$

где  $T$  — абсолютная температура, а  $R$  — газовая постоянная.

Большую важность для воздуха, как смеси нескольких газов, имеет закон парциального давления Дальтона. Этот закон состоит в том, что давление смеси нескольких газов, химически не действующих друг на друга, равно сумме парциальных давлений ее составных частей, т. е. тех давлений, которые каждый из газов смеси обнаружил бы, если бы один наполнял объем, занимаемый смесью. Давления отдельных газов, составляющих смесь, называются парциальными давлениями. Пусть, при некоторой постоянной температуре газы, каждый отдельно, занимают объемы  $v_1, v_2, v_3$  и т. д. при давлениях  $p_1, p_2, p_3$  и т. д. Смешаем их при той же температуре в объеме  $V$ . Парциальные их давления будут

$$\frac{p_1 v_1}{V}, \quad \frac{p_2 v_2}{V}; \quad \frac{p_3 v_3}{V}.$$

а общая упругость смеси  $P$  будет

$$P = \frac{p_1 v_1}{V} + \frac{p_2 v_2}{V} + \frac{p_3 v_3}{V} + \dots = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{p_i v_i}{V}$$



## 4. Вес воздуха

Воздух, как и всякое тело, имеет вес и вследствие этого давит на земную поверхность. Вес  $1 \text{ м}^3$  сухого воздуха на уровне моря под широтой  $45^\circ$  при температуре  $0^\circ$  и нормальном барометрическом давлении равен  $1,29305 \text{ кг}$  или, откинув две последние цифры,  $1,293 \text{ кг}$ . За нормальное давление воздуха считается давление на уровне моря, под широтой  $45^\circ$  и при температуре  $0^\circ$ ; оно равно  $10\,333 \text{ кг/м}^2$  или  $1,0333 \text{ кг/см}^2$ . В технике атмосферное давление на  $1 \text{ см}^2$  принято считать равным  $1 \text{ кг}$ , что несколько меньше, чем указанное нормальное давление атмосферы.

Вес  $1 \text{ м}^3$  влажного воздуха меньше, чем сухого, так как водяные пары имеют удельный вес по отношению к воздуху  $0,622$ . Вес  $1 \text{ м}^3$  влажного воздуха определяется по формуле:

$$S = 1293 \frac{p}{10\,333} \frac{1}{1 + \alpha t} \left( 1 - 0,378 \frac{e}{p} \right) (1 - 0,00264 \cos 2 \varphi) (1 - \beta h),$$

где  $S$  — вес  $1 \text{ м}^3$  воздуха;

$p$  — давление воздуха или его упругость в  $\text{кг/м}^2$ ;

$e$  — упругость водяных паров в тех же единицах;

$$\alpha = \frac{1}{273}$$

$t$  — температура воздуха;

$\varphi$  — широта места;

$\beta$  — коэффициент, равный  $0,000000314$ , если  $h$  выражено в метрах;

$h$  — высота местности в метрах.

Для суждения о степени влияния паров воды на вес воздуха (в граммах) приводим таблицу веса  $1 \text{ м}^3$  воздуха сухого и насыщенного парами воды при давлении  $760 \text{ мм}$ :

| Температура                                          | $-20^\circ$ | $-10^\circ$ | $0^\circ$ | $10^\circ$ | $20^\circ$ | $30^\circ$ |
|------------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|
| Вес $1 \text{ м}^3$ сухого воздуха                   | 1395        | 1342        | 1293      | 1247       | 1205       | 1165       |
| Вес $1 \text{ м}^3$ воздуха, насыщенного парами воды | $1395 - x$  | 1341        | 1290      | 1241       | 1194       | 1147       |
| Разность                                             | $x$         | 1           | 3         | 6          | 11         | 18         |

При  $-20^\circ$  насыщенный водяными парами воздух весит почти столько же, сколько и сухой — разница  $x$  меньше  $1 \text{ г}$ .

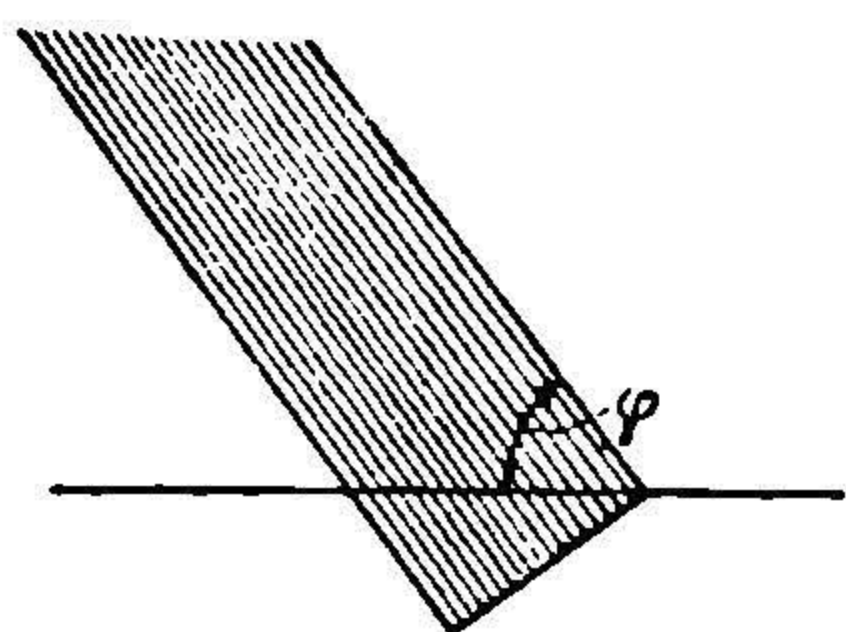
## 5.оборот тепловой энергии на земном шаре

Источником тепловой энергии для поверхностных слоев земного шара служат солнце, звезды и планеты, внутренняя теплота земного шара, радиоактивные явления. Подавляющее значение принадлежит лучистой энергии солнца: эта энергия является первопричиной почти всех явлений в атмосфере и в верхних слоях суши и воды. Так звезды и планеты — все в совокупности — дают всего только по Ланглюю  $3 \cdot 10^{-7}$  солнечной радиации. От внутреннего тепла земли каждый  $1 \text{ см}^2$  земной поверхности полу-



чает в год всего около 54 малых калорий, тогда как солнце посылает на землю в течение года  $1,34 \times 10^{24}$  малых калорий. Если бы земля была покрыта слоем льда в 36 м толщины (при  $0^\circ$ ), то солнце растопило бы этот слой в течение одного года. Эта энергия приводит в движение сложный механизм воздушных и морских течений, испаряет с морской и земной поверхности воду, нагревает земную поверхность, зеленые части растений под влиянием солнечной энергии разлагают углекислоту воздуха и скопляют в своих тканях запасы углерода и т. д. Поэтому изучение количества и распределения солнечной лучистой энергии является основой всей геофизики и под именем актинометрии составляет отдельную часть этой науки.

Испускаемая солнцем лучистая энергия, или солнечная радиация, идет непрерывным потоком; выделим мысленно из этого потока цилиндрический пучок, имеющий поперечное сечение  $1 \text{ см}^2$ , и поставим на его пути перпендикулярно к потоку тело с зачерненной поверхностью; лучистая



Фиг. 1. Солнечная радиация на горизонтальную поверхность.

энергия превратится в тепло, и тело будет нагреваться. Измерим количество тепла, получаемого  $1 \text{ см}^2$  поверхности этого тела в течение одной минуты, — мы получим величину напряжения солнечной радиации. Напряжение солнечной радиации обычно выражается в малых калориях; обозначим его через  $l$ .

На практике важно знать количество тепла, которое получается поверхностью не нормальной к потоку солнечной радиации, а поверхностью горизонтальной. Обозначив через  $l_1$  количество тепла, получаемое в одну минуту  $1 \text{ см}^2$  горизонтальной поверхности, мы можем установить связь между величиной  $l_1$  и напряжением солнечной радиации  $l$ . Если угол, образуемый солнечными лучами с горизонтальной поверхностью, обозначим через  $\varphi$  (фиг. 1), то

$$l_1 = l \sin \varphi.$$

Идущая от солнца радиация не полностью доходит до земной поверхности — часть ее отражается от облаков и атмосферы, часть рассеивается частичками пыли и молекулами воздуха, часть поглощается атмосферными газами и переходит в другие формы энергии. Поэтому важно знать, каково напряжение солнечной радиации на границе, у внешних пределов нашей атмосферы, или, другими словами, каково было бы это напряжение на земной поверхности, если бы атмосфера была абсолютно прозрачна для лучей солнечной энергии. Напряжение солнечной радиации при таких условиях называется солнечной постоянной. По последним измерениям солнечная постоянная равна

$$1.94 \frac{\text{мал. кал.}}{\text{см}^2/\text{мин}}.$$

Из этого количества около 40% отражается облаками и воздухом и уходит в мировое пространство, а остальные 60% частью задерживаются атмосферой, где лучистая энергия превращается в тепловую, химическую и т. д., а большей частью доходит до земной поверхности. Но та



энергия, которая задерживается атмосферой, частью также приходит на земную поверхность и называется рассеянной небесной радиацией, в отличие от прямой радиации, т. е. непосредственно получаемой от солнца. В высоких широтах роль рассеянной небесной радиации в общей сумме энергии, получаемой земной поверхностью, значительна.

Из факта задержки части солнечной энергии атмосферой можно заключить, что напряжение прямой солнечной радиации должно увеличиваться с высотой, что и подтверждается наблюдениями. Так мы имеем следующие данные для наибольших значений солнечной радиации в зависимости от высоты:

|                                | Высота над<br>уровнем мо-<br>ря в м | $\frac{\text{г-кал}}{\text{см}^2/\text{мин}}$ |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Вашингтон                      | 10                                  | 1,58                                          |
| Гора Вильсон                   | 1 700                               | 1,64                                          |
| Гора Кунгей-Алатау (Семиречье) | 3 100                               | 1,72                                          |
| Гора Уитней                    | 4 200                               | 1,72                                          |
| Аэростат с наблюдателем        | 7 500                               | 1,75                                          |
| Шар-зонд                       | 18 000                              | 1,84                                          |

Чем выше производились измерения, тем больше напряжение солнечной радиации, и на высоте 18 000 м мы уже имеем величину, не сильно отличающуюся от солнечной постоянной.

Даем ниже таблицу сумм тепла прямой солнечной радиации, фактически полученной 1 см<sup>2</sup> в малых калориях на горизонтальную поверхность (зачерненную):

|       | М е с я ц ы |       |       |       |       |       |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | I           | II    | III   | IV    | V     | VI    |
| Слуцк | 140         | 660   | 2 590 | 4 430 | 7 470 | 8 170 |
| Киев  | 770         | 1 910 | 3 050 | 3 460 | 9 880 | 8 850 |

|       | М е с я ц ы |       |       |       |       |     |        |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-----|--------|
|       | VII         | VIII  | IX    | X     | XI    | XII | Год    |
| Слуцк | 7 930       | 4 420 | 2 720 | 1 040 | 140   | 60  | 39 760 |
| Киев  | 10 950      | 9 420 | 6 800 | 3 950 | 1 000 | 440 | 60 760 |

Координаты Слуцка  $\varphi=59^{\circ}41'$ ,  $\lambda=2^h 2^m H=30$   
 »           Киева  $\varphi=50^{\circ}27'$ ,  $\lambda=2^h 2^m H=182$

Годы наблюдений: Слуцк 1913—1919  
 Киев 1891—1892

По наблюдениям в Слуцке рассеянная солнечная радиация в ясные дни составляет около 15%, а в облачные дни до 75% прямой солнечной радиации.

Для измерения прямой солнечной радиации применяются — для точных наблюдений — так называемые пиргелиометры и актинометры и самопишущие приборы — актинографы, для рассеянной — пиранометры и самописцы-пиранографы. Для учета количества часов солнечного сияния употребляются гелиографы — приборы малой точности.

Изучение солнечной энергии имеет колоссальное практическое значение. Не в далеком будущем запасы современного горючего (уголь, нефть)



будут исчерпаны, и человечеству для его высокой техники придется обратиться к новым источникам энергии.

Опыты использования солнечной энергии в технических целях ведутся давно, имеются уже солидные установки, работающие на солнечной энергии, но они не получили широкого распространения ввиду недостаточной пока еще их рентабельности. Однако с течением времени приборы и установки усовершенствуются, и непосредственная солнечная энергия будет использована для технических целей. В нашем Союзе особенно благоприятна для технического использования солнечной энергии территория Туркестана. Имеются все основания думать, что благодаря исключительному развитию науки и техники в наши дни время рентабельного использования солнечной энергии в технических целях наступит раньше, чем будут исчерпаны на земном шаре запасы современного горючего, и что советская наука и техника и здесь скажут свое веское слово.

До сих пор мы говорили о приходе солнечной энергии (как прямой — в виде солнечной радиации, так и вторичной — в виде рассеянной небесной радиации) и видели, как велико количество этой энергии. Между тем температура земли в целом не повышается. Наоборот, из геологического прошлого земли мы можем заключить, что земля, хотя и геологически медленно, но охлаждается. Следовательно мы должны отсюда заключить, что земной шар теряет тепловую энергию примерно в таком количестве, в каком он ее получает. Землю с облегающим ее воздушным океаном окружает мировое пространство, температура которого нам в точности неизвестна, но с некоторым приближением она принимается близкой к абсолютному нулю, т. е. около  $-273^{\circ}$ . В это мировое пространство и излучается тепловая энергия с земного шара. Солнечная лучистая энергия приходит на поверхность земного шара в виде колебаний весьма малой длины волны, в большинстве порядка частей микрона ( $\mu = 0,001 \text{ мм}$ ). Превращаясь на земной поверхности в тепло, эта энергия с земной поверхности излучается уже в виде лучей порядка целых микронов. Таким образом земной шар является как бы трансформатором, перерабатывающим малые длины волн на большие. Но воздушная оболочка земного шара, как мы указывали, состоит из комплекса отдельных газов, которые поглощают до  $\frac{2}{3}$  земной радиации. В особенности задерживающей способностью отличаются водяные пары,  $\text{CO}_2$  и находящийся в составе главным образом верхних слоев воздуха озон.

Таким образом атмосфера действует как стекло в парнике, пропускающая лучистую энергию малых длин волн и задерживая энергию больших длин волн.

Тем не менее тепловая энергия с земного шара уходит в мировое пространство (в виде части земной радиации, не поглощенной атмосферой, и в виде радиации самой атмосферы) в таком количестве, что приход солнечной радиации балансируется расходом тепловой энергии земного шара настолько, что охлаждение его может быть замечено только в периоды геологической длительности.

## 6. Инсоляция и излучение

Солнечная радиация, проходя через атмосферу, падает на земную поверхность и распространяется в ней на некоторую глубину. Поверхност-



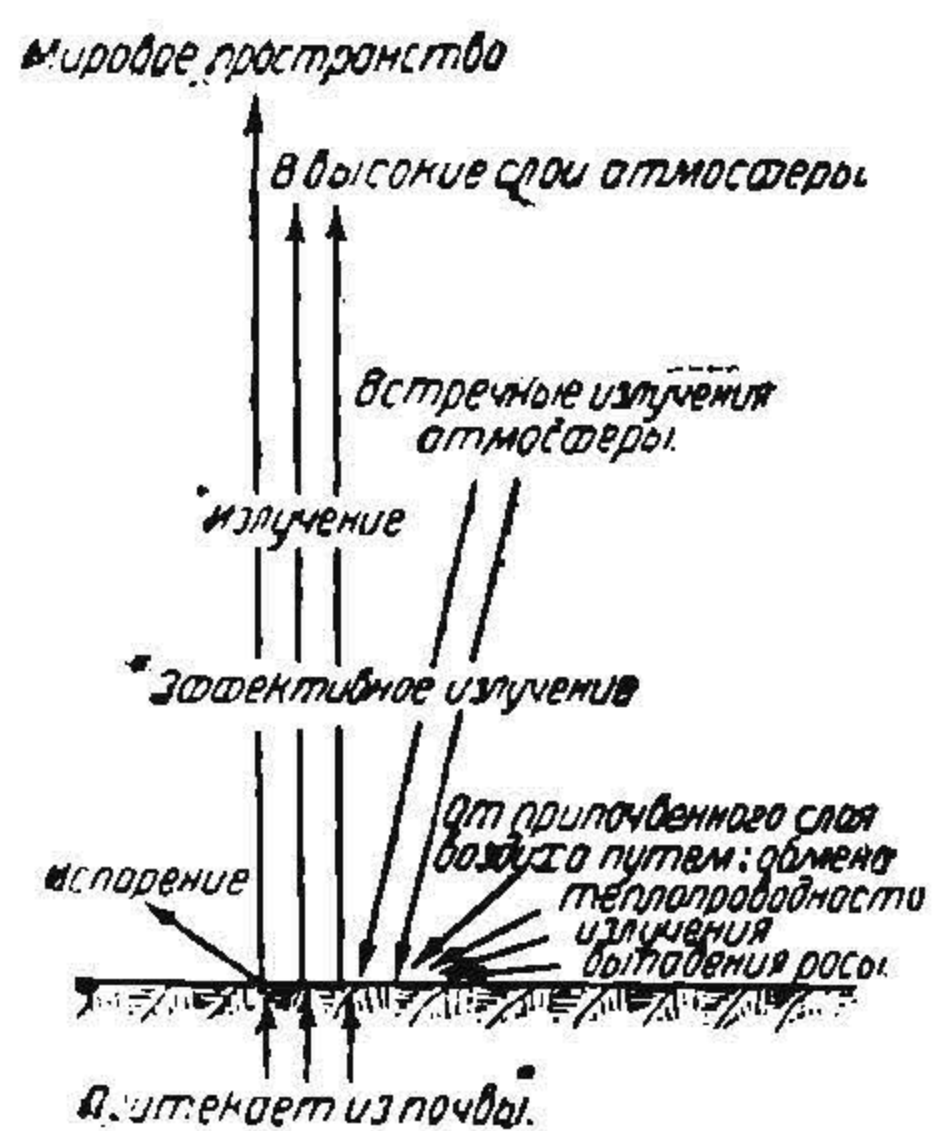
ный слой превращает большую часть падающей на него радиации в тепловую энергию, причем в зависимости от режима погоды происходит либо накопление тепла, либо его потеря. Первый случай характерен для летнего времени года и дневной половины суток и называется инсоляционным, второй типичен для зимних или ночных условий и носит название радиационного.

Установление в природе того или иного типа зависит от взаимного соотношения претерпеваемых солнечными лучами процессов поглощения, отражения и излучения в атмосфере и в поверхностных слоях почвы.

Фиг. 2 дает схему инсоляционного процесса: солнечная радиация, проходя через атмосферу, как видно из чертежа, отчасти поглощается ею и находящимися в ней частицами пыли и воды, отчасти рассеивается, однако большая часть ее, около 60%, достигает земной поверхности в виде прямой солнечной радиации.

Радиация, поглощаемая атмосферой, в свою очередь частью отражается обратно в мировое пространство, частью отражается снова к земной поверхности и доходит до нее в виде «диффузного излучения атмосферы».

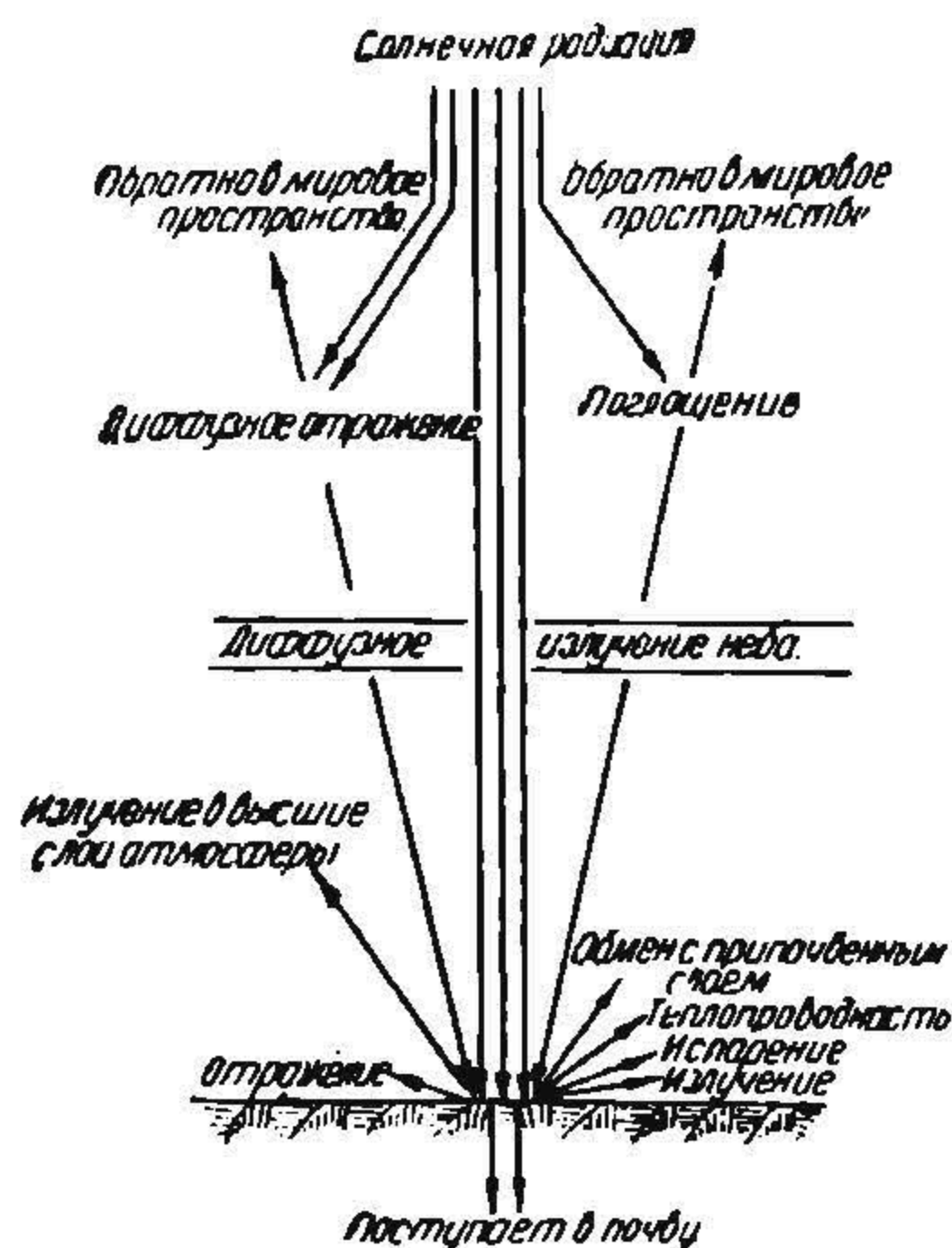
Эта радиация, достигая земной поверхности, снова испытывает отражение, составляющее около 10% энергии падающих лучей; почти вся оставшаяся энергия переходит в тепло.



Фиг. 3. Ночной теплообмен.

Процесс охлаждения, идущий в поверхностном слое, оказывает также влияние на ближайшие слои почвы, заставляя их также понижать температуру до большей или меньшей глубины, в зависимости от интенсивности и продолжительности основного процесса.

Рассмотренные явления подчеркивают собою важность изучения



Фиг. 2. Полуденный теплооборот.

Тепловая энергия поверхностного слоя расходуется на излучение земной поверхности, на нагревание ее и прилегающих слоев воздуха и дает начало тепловому потоку, идущему в глубь почвы.

Качественно иная картина получается при радиационном типе; в этом случае преобладающей оказывается потеря тепла земной поверхностью. Как видно из фиг. 3, преобладающим фактором является излучение земной поверхности в мировое пространство и к высоким слоям атмосферы, однако некоторое количество тепла земная поверхность все же получает от продолжающегося излучения атмосферы, от обмена с припочвенным слоем воздуха путем теплопроводности и излучения.

Процесс охлаждения, идущий в поверхностном слое, оказывает также влияние на ближайшие слои почвы, заставляя их также понижать температуру до большей или меньшей глубины, в зависимости от интенсивности и продолжительности основного процесса.

Рассмотренные явления подчеркивают собою важность изучения



физических свойств поверхностного слоя земной поверхности, прилегающих к нему слоев воздуха и верхних горизонтов почвы. От физических характеристик этих тел зависит количественная сторона изложенного физического процесса усвоения солнечной энергии, в конечном счете обуславливающего все разнообразие явлений мертвой и живой природы.

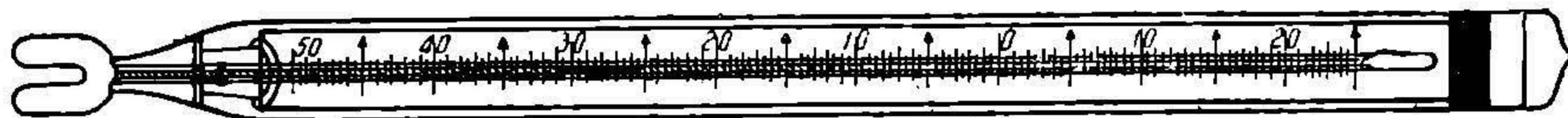
В настоящее время подобные наблюдения и теоретические исследования углубленно разрабатываются в метеорологии и климатологии.

## 7. Изучение теплового состояния нижних слоев воздуха

Для изучения температуры воздуха имеются три типа термометров:

1. Обыкновенный ртутный с делениями на градусы и с подразделением на  $\frac{1}{5}^{\circ}$  так, чтобы десятые градуса удобно было отсчитывать на-глаз<sup>1</sup>.

2. Максимальный, имеющий особое устройство, благодаря чему ртуть может свободно расширяться при повышении температуры, а когда температура начнет убывать и объем ртути уменьшится, столбик ртути



Фиг. 4. Минимальный термометр.

в месте соединения шарика с капилляром термометра разрывается и таким образом наивысшее показание термометра остается без изменения до наблюдений и мы можем знать, какова была максимальная температура за тот промежуток времени, когда определяли температуру. Когда отсчет градусов сделан и записан, ртуть столбика встряхиванием соединяют с ртутью в шарике, и термометр вновь готов для наблюдений.

Периоды наблюдений могут быть произвольно выбраны. Обычно отмечают максимум температуры между сроками, установленными на метеорологических станциях для наблюдений.

3. Минимальный термометр, который в условиях нашего Союза нельзя делать из ртути, так как она при  $-38,9^{\circ}$  замерзает, а температура воздуха ниже этой точки встречается на большей части территории Союза. Поэтому минимальные термометры наполняются амальгамой спиртом (или толуолом). В капилляре термометра, в спирте, помещается небольшой стеклянный указатель, штифтик. Если круто наклонять термометр, то штифтик свободно, в силу своей тяжести, движется в спирте, но не может выйти за пределы спирта, так как тяжесть его недостаточна, чтобы преодолеть поверхностное натяжение спирта. Перед наблюдением, наклоняя термометр, приводят штифтик к уровню спирта. Когда температура воздуха начнет понижаться, спирт уменьшается в объеме, столбик укорачивается и силой поверхностного натяжения увлекает с собой штифтик по направлению к резервуару, которому часто придают форму двурогой вилки. Когда же температура повышается и спирт при этом расширяется, то он свободно обтекает штифтик, оставляя его на месте. Удаленный от спиртового резервуара конец штифтика и будет показывать наименьшую температуру за некоторый период времени. Сделав отсчет,

<sup>1</sup> В настоящем курсе температура указана в градусах Цельсия.



штифтик снова приводят наклоном термометра к уровню спирта (фиг. 4).

Максимальный и минимальный термометры имеют деления на градусы с подразделением на  $\frac{1}{2}^\circ$ ; десятые доли отсчитываются на-глаз. И максимальный и минимальный термометры устанавливаются горизонтально.

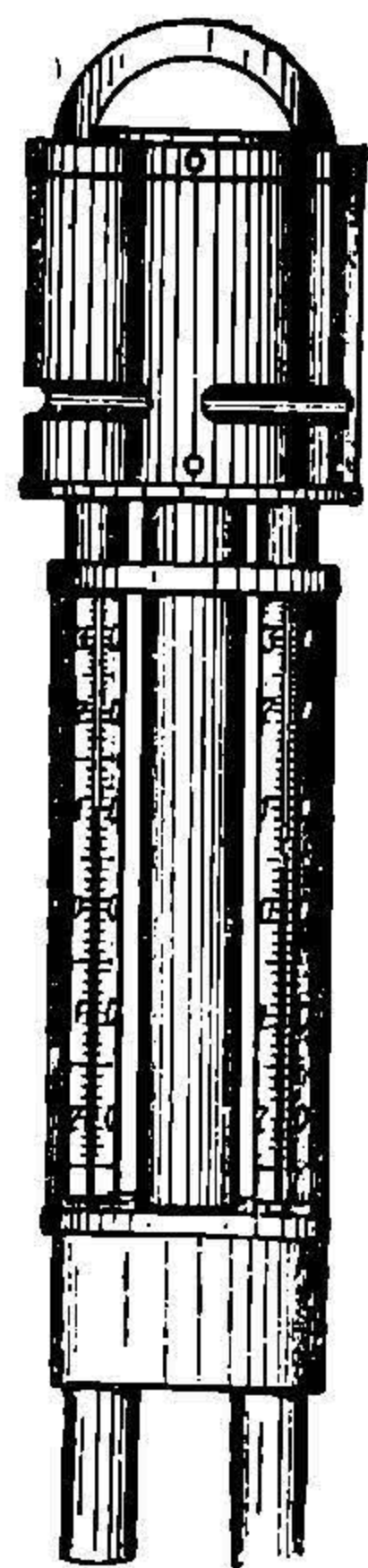
Температуру воздуха следует измерять в тени, а не на солнце, для чего термометры устанавливаются в специальных будках, об устройстве которых будет сказано дальше.

Но в дорожных целях встречается необходимость знать температуру воздуха у самого полотна или в канаве, или в лесу придорожной полосы и т. д. Для этого особенно удобен аспирационный психрометр Ассмана (фиг. 5 и 6).

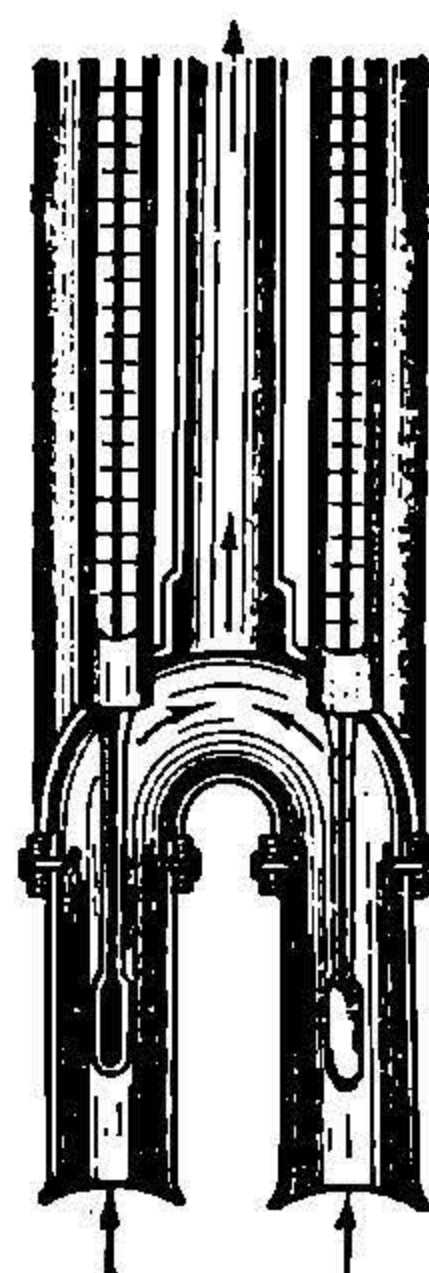
В этом приборе 2 термометра помещаются в особой гильзе, через которую при помощи вентилятора, приводимого в движение часовой пружинкой, протягивается струя воздуха, который и проходит мимо шариков термометров. Шарик одного термометра обертывается батистом, батист перед наблюдением смачивается водой (дистиллированной). Термометр без батиста показывает температуру воздуха, а с батистом служит для определения влажности воздуха (см. ниже). Перед наблюдениями нужно завести пружину прибора и только тогда записывать показания термометров, когда ртуть в капиллярах их, поднимаясь или опускаясь, примет некоторое стационарное состояние, — это наступает обыкновенно через 1—2 минуты после завода пружины. Наблюдения прибором Ассмана производят вне будки.

Термометры для измерения температуры воздуха являются точными приборами; каждый термометр по изготовлении проверяется компетентным учреждением, которое ставит свой номер на термометре и выдает таблицу поправок для него.

В СССР наблюдения за температурой воздуха на метеорологических станциях производятся ежедневно, не исключая праздников, в 7, 13 и 21 час — в так называемые срочные часы. Сумма показаний за три срока, деленная на три, дает среднюю суточную температуру; средняя месячная выводится аналогично из средних суточных, а средняя годовая — из средних месячных. Из трех показаний максимального термометра берут наибольшее за сутки — это будет суточный максимум, а наименьшее из трех показаний минимального термометра дает суточный минимум. Средние максимальные и минимальные температуры за месяц получают как средние из суточных максимумов и минимумов. Если же взять из суточных максимумов и минимумов наивысшую и наименьшую температуры за месяц, то это будет абсолютный максимум или минимум за данный месяц.



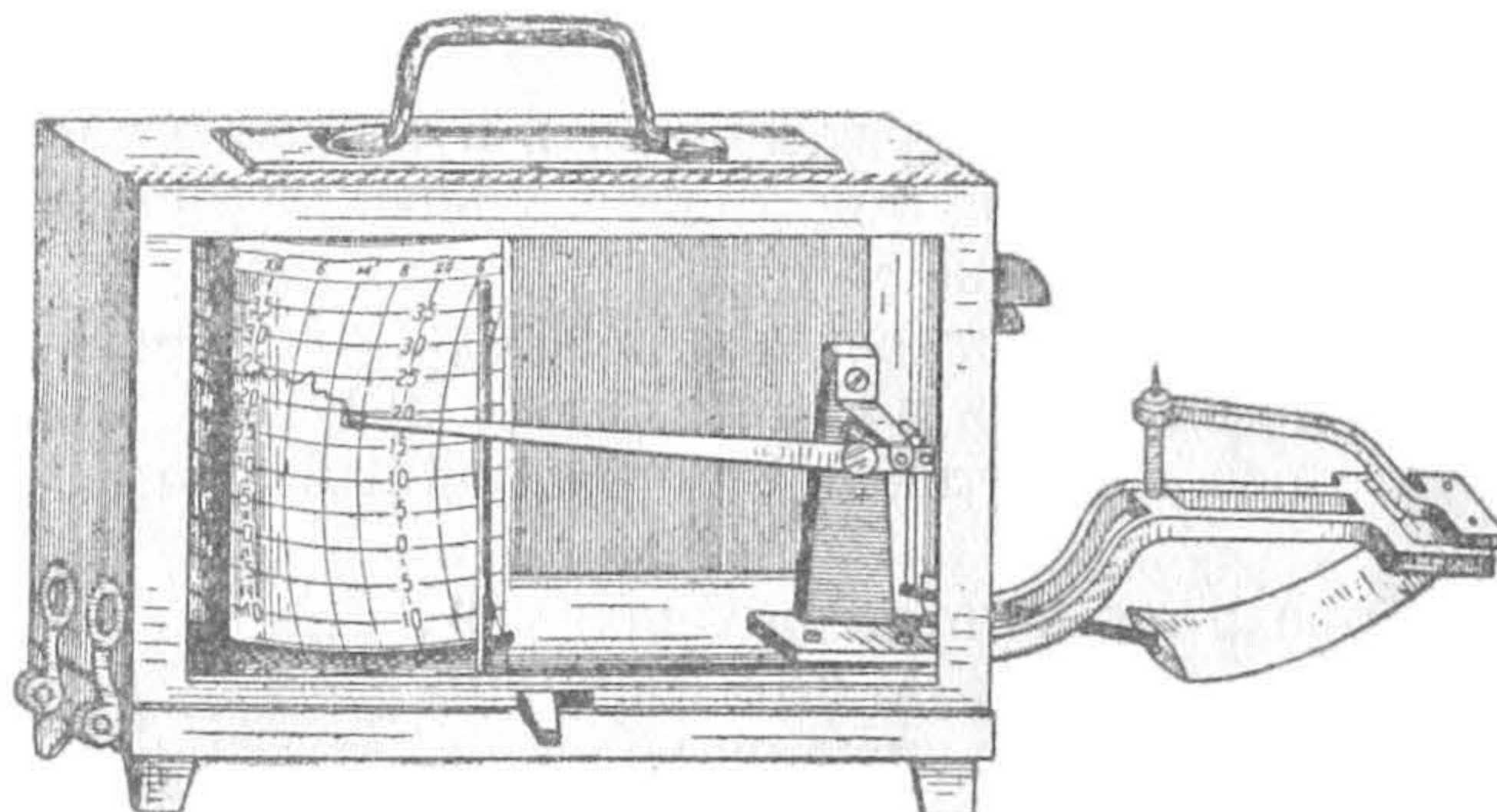
Фиг. 5. Психрометр Ассмана.



Фиг. 6. Деталь психрометра Ассмана.



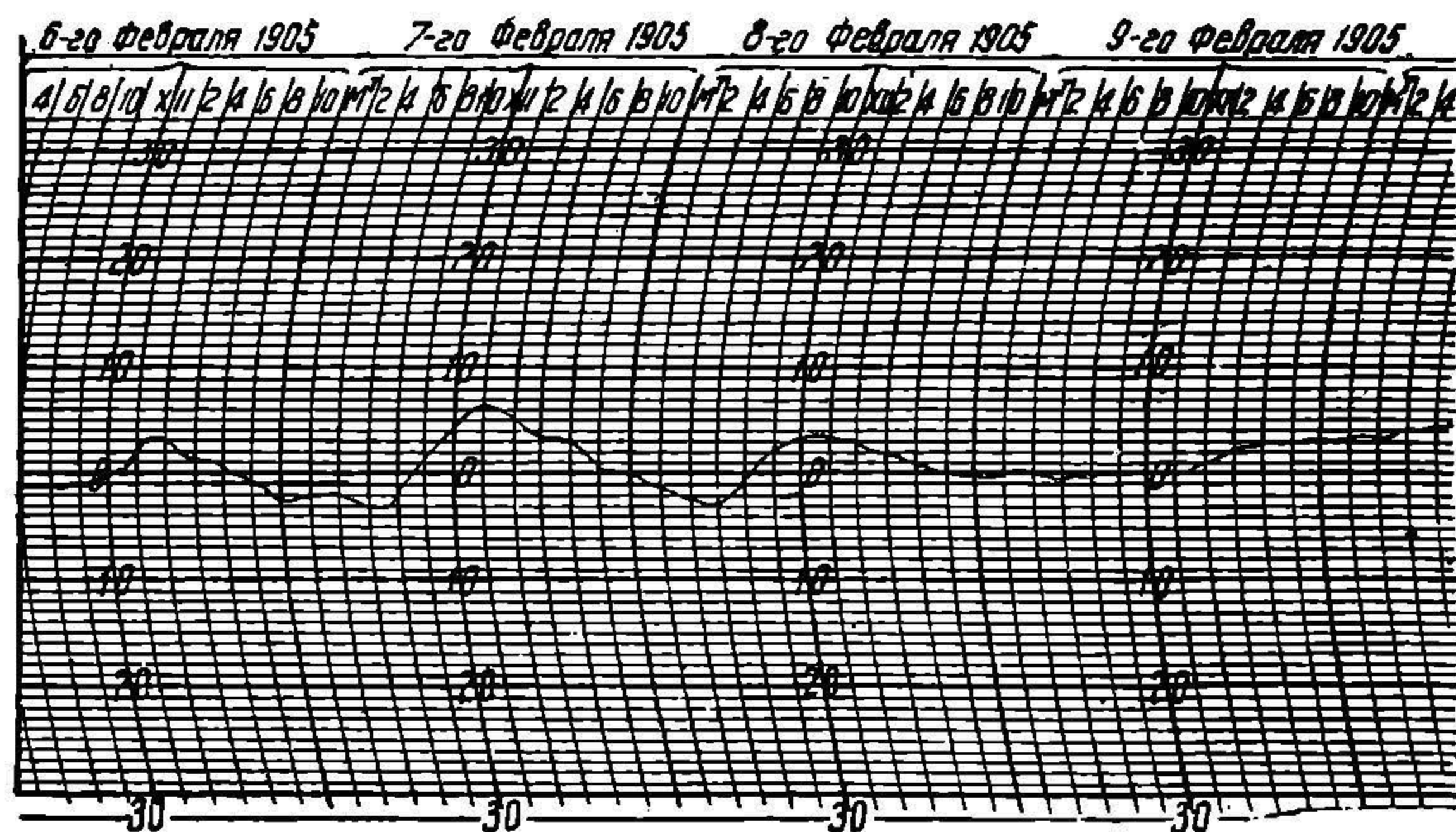
Аналогично получают средний абсолютный годовой максимум или средний годовой минимум из месячных данных. Абсолютные же годовые максимум и минимум температуры есть самая высокая или самая низкая температуры воздуха за год.



Фиг. 7. Общий вид термографа.

Если нужно иметь непрерывные показания температуры, пользуются самопишущими приборами — термографами (фиг. 7).

На термограмме (фиг. 8) 7 февраля в 14 часов было  $+6^{\circ},5$ , а в 7 часов утра  $-3^{\circ},2$ . К этим величинам, снятым с термограммы, нужно придать поправки, определяемые из сравнения с наблюдениями по термометру в будке.



Фиг. 8. Термограмма.

В зависимости от периодических изменений положения солнца (в суточном и годовом периодах) наблюдаются два главных периода в ходе температур воздуха:

1. Суточный ход с одним максимумом и одним минимумом. Как правило, максимальная температура приходится на 13 или 14 часов, мини-



мальная — перед восходом солнца (но бывают и отклонения от этого порядка).

2. Годовой ход температуры также имеет один максимум (в северном полушарии июнь — июль — август) и один минимум (декабрь — январь — февраль) (фиг. 9).

Разность между наибольшей и наименьшей температурами называется амплитудой температуры — соответственно суточной, месячной или годовой.

## 8. Изучение влажности воздуха

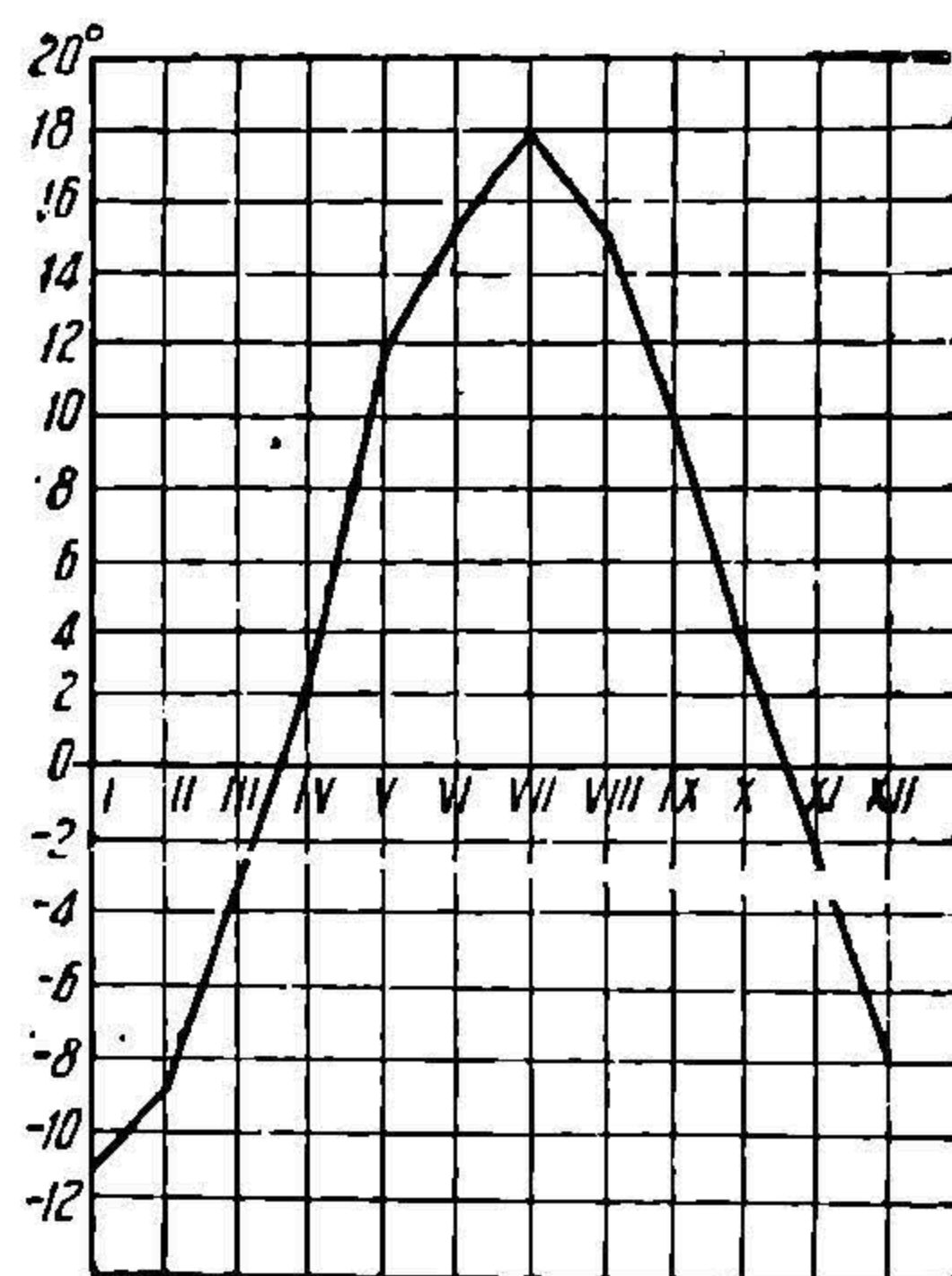
Мы уже говорили, что водяные пары есть постоянная составная часть воздуха и что при прочих равных условиях количество их есть функция температуры. Количество паров воды в воздухе выражается или в граммах на кубический метр воздуха, или тем парциальным давлением, парциальной упругостью, которую имеют водяные пары. Эта упругость обыкновенно измеряется в миллиметрах ртутного столба, который они могут уравновесить. Водяные пары могут насыщать воздушное пространство, и тогда они достигают предельной упругости или могут доходить до насыщающего воздуха состояния, — последнее и является наиболее частым состоянием водяных паров вблизи земной поверхности.

Ниже дана зависимость количества насыщающих воздух водяных паров от температуры. Количество водяных паров дано в двух видах: в виде мм упругости его  $E$  и в виде числа граммов паров в  $1 \text{ м}^3$  воздуха ( $Q$ ).

| Температура воздуха | Упругость водяных паров $E$ мм | Количество водяных паров $Q$ г/м <sup>3</sup> |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|
| —30°                | 0,39                           | 0,46                                          |
| —20°                | 0,96                           | 1,10                                          |
| —10                 | 2,16                           | 2,38                                          |
| 0                   | 4,58                           | 4,85                                          |
| 10                  | 9,21                           | 9,42                                          |
| 20                  | 17,74                          | 17,32                                         |
| 30                  | 31,93                          | 30,40                                         |

Водяные пары являются наиболее неустойчивой частью атмосферы. Так, их количество меняется в течение суток. В годовом ходе изменимость содержания водяных паров в воздухе в средних широтах над сушей значительна: водяные пары часто переходят в жидкое состояние и в таком виде или плавают в воздухе (облака, туман), или падают на землю; часто пары выделяются в виде росы. При температуре воздуха ниже 0° водяные пары переходят в твердое состояние (снег, иней).

Чтобы охарактеризовать влажность воздуха, мы остановимся на четырех ее выражениях.



Фиг. 9. Годовой ход температуры воздуха в Москве.



1. Абсолютная влажность воздуха есть упругость водяных паров  $e$ , фактически содержащихся в данный момент в воздухе; эта упругость выражается в мм ртутного столба.

2. Относительная влажность воздуха есть отношение упругости паров, содержащихся в воздухе ( $e$ ), к упругости насыщающих паров при данной температуре ( $E$ ). Относительная влажность выражается в процентах. Таким образом для относительной влажности  $r$  имеем формулу:

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100.$$

3. Влажный дефицит или недостаток насыщения есть разность между упругостью насыщающих воздух паров при данной температуре и действительной упругостью водяных паров в воздухе. Обозначая влажный дефицит через  $D$ , имеем:

$$D = E - e.$$

4. Точка росы есть та температура воздуха, при которой пары, находящиеся в воздухе, достигают насыщения этого воздуха. Например пусть температура воздуха  $20^\circ$  и упругость паров в нем 9,21 мм; так как эта последняя цифра есть упругость паров, насыщающих воздух при температуре  $10^\circ$ , то  $10^\circ$  и есть точка росы для рассматриваемого случая.

Наиболее точный метод определения паров в воздухе есть весовой метод, когда некоторый определенный объем воздуха пропускают через вещества, поглощающие пары воды, например  $\text{CaCl}_2$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Пусть сосуд с поглощающим водяные пары веществом до опыта весит  $p$  граммов, а после пропуска  $m$  кубических метров влажного воздуха —  $p_1$  граммов. Очевидно, водяных паров было поглощено  $p_1 - p$  граммов, а на  $1 \text{ м}^3$  приходится  $\frac{p_1 - p}{m}$  граммов, что и нужно было найти. Но в метеорологии редко

применяют этот метод, а пользуются психрометрическим способом. Представим себе, что мы имеем рядом два термометра, у одного из которых шарик с ртутью тщательно обернут смоченным в воде батистом и эта смоченность непрерывно поддерживается, для чего конец батиста опущен в стаканчик с водой. Термометр без смоченного батиста (называется в метеорологии «сухой термометр») будет показывать температуру воздуха, а смоченный — более низкую температуру, так как с поверхности батиста происходит испарение, которое, как известно, требует затраты тепла, и это тепло берется из ртути, находящейся в шарике смоченного термометра. При данной температуре испарение будет происходить тем интенсивнее, чем суше воздух, а следовательно из шарика термометра будет больше расходоваться тепла и следовательно показания смоченного термометра будут тем ниже, чем суше воздух. Таким образом в показаниях сухого и смоченного термометров будет разность температур, которая будет равна нулю только в том случае, если воздух насыщен водяными парами, вследствие чего испарения с батиста смоченного термометра не будет. По этой-то разнице показаний сухого и смоченного термометров и определяется по особым таблицам влажность воздуха.



Рассмотрим теорию психрометра. По закону Дальтона испарение прямо пропорционально влажному дефициту и площади испаряющей поверхности и обратно пропорционально давлению воздуха.

Имеем

$$q = K \frac{E - e}{H} S,$$

где  $q$  — количество испарившейся воды;

$E - e$  — влажный дефицит;

$S$  — площадь испаряющей поверхности;

$H$  — давление воздуха;

$K$  — коэффициент пропорциональности.

Чтобы испарить количество воды  $q$ , нужно затратить теплоты  $Q_1 = qr$ , где  $r$  — скрытая теплота испарения. Следовательно  $Q_1 = K \frac{E - e}{H} Sr$ .

Так как температура смоченного термометра ( $t_1$ ) ниже температуры окружающего воздуха  $t$  (которую показывает сухой термометр), то между воздухом и шариком смоченного термометра устанавливается теплообмен от воздуха, температура которого выше, к шарiku, температура которого ниже.

Но по закону Ньютона такой теплообмен происходит в данном случае пропорционально разности температур воздуха и шарика и величине поверхности, что выражается формулой

$$Q_2 = a (t - t_1) S,$$

где

$Q_2$  — количество тепла, поступающее от воздуха к шарiku;

$a$  — коэффициент пропорциональности;

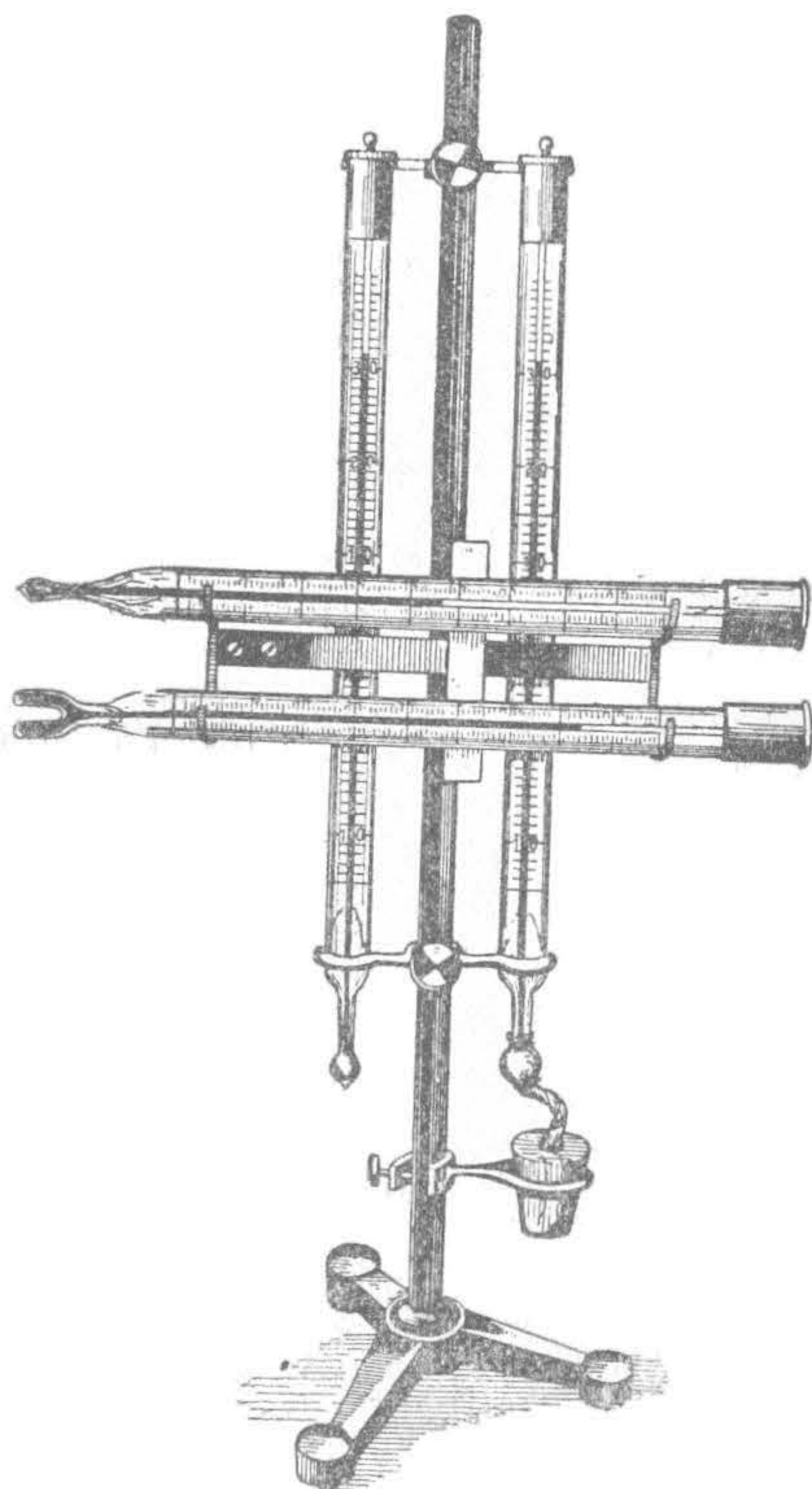
$t$  — температура сухого термометра;

$t_1$  — температура смоченного термометра;

$S$  — площадь поверхности шарика.

Если бы вода, испаряясь с батиста, не получала тепла из воздуха, то ртуть в смоченном термометре непрерывно бы понижалась. Но через известное время ртуть принимает стационарное состояние — именно тогда, когда расход тепла на испарение равен притоку, приходу тепла из воздуха. Следовательно

$$Q_1 = Q_2$$



Фиг. 10. Психрометр Августа, максимальный и минимальный термометры (горизонтальные):



или, подставляя соответственные величины:

$$K \frac{E - e}{H} S r = a (t - t_1) S.$$

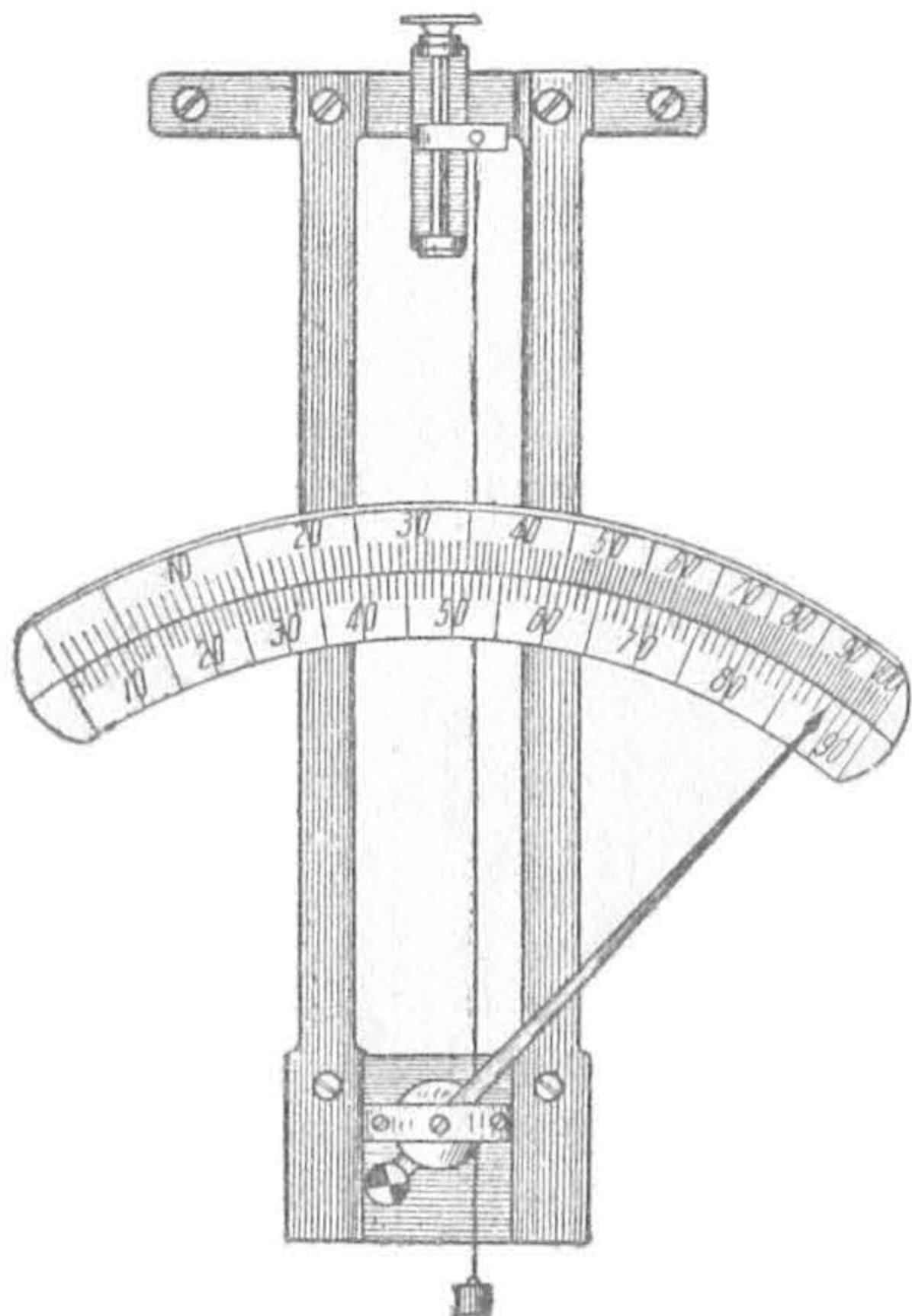
Сокращая и решая это уравнение относительно  $e$ , найдем абсолютную влажность воздуха

$$e = E - \frac{a}{K r} (t - t_1) H.$$

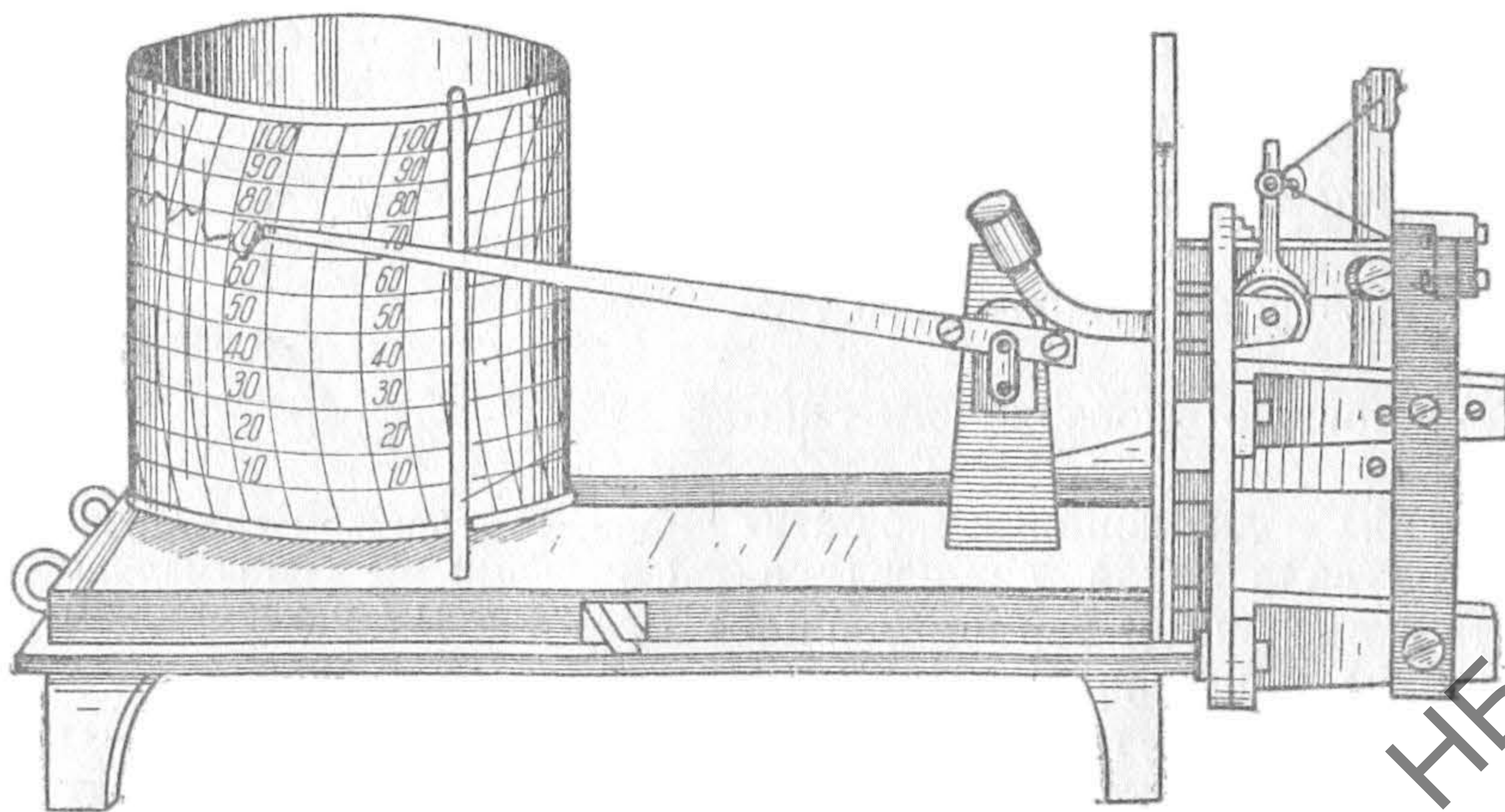
В правой части уравнения  $E$  и  $r$  (упругость насыщения и скрытую теплоту) берут из соответственных таблиц;  $a$  и  $K$  — коэффициенты пропорциональности — известны из основных формул,  $t$  — температура сухого,  $t_1$  — смоченного термометров и  $H$  — давление воздуха получают из наблюдений.

Этот очень изящный способ определения влажности применяется и в психрометрах Августа (фиг. 10), когда смоченный термометр устанавливается в будке рядом с сухим термометром, и в психрометрах Ассмана, когда смоченный термометр помещается в общую оправу с сухим термометром. Для каждой из этих систем психрометров существуют особые таблицы, из которых и берут величину  $e$ .

В большом ходу также волосной гигрометр Соссюра, основанный на том, что обезжиренный человеческий волос становится гигроскопическим и при увеличении относительной влажности удлиняется (фиг. 11).



Фиг. 11. Гигрометр Соссюра.



Фиг. 12. Гигрограф.



Для непрерывной записи относительной влажности применяется гигрограф системы Ришара (фиг. 12).

И абсолютная и относительная влажность имеют суточный и годовой ход.

## 9. Изучение испарения

Водяные пары в воздухе получаются в результате испарения воды с водной поверхности океанов и морей, пресных водоемов и рек и поверхности почвы, особенно покрытой растениями. Испарение происходит и с поверхности снега и льда.

Дальтон для испарения дал формулу, разобранную нами выше:

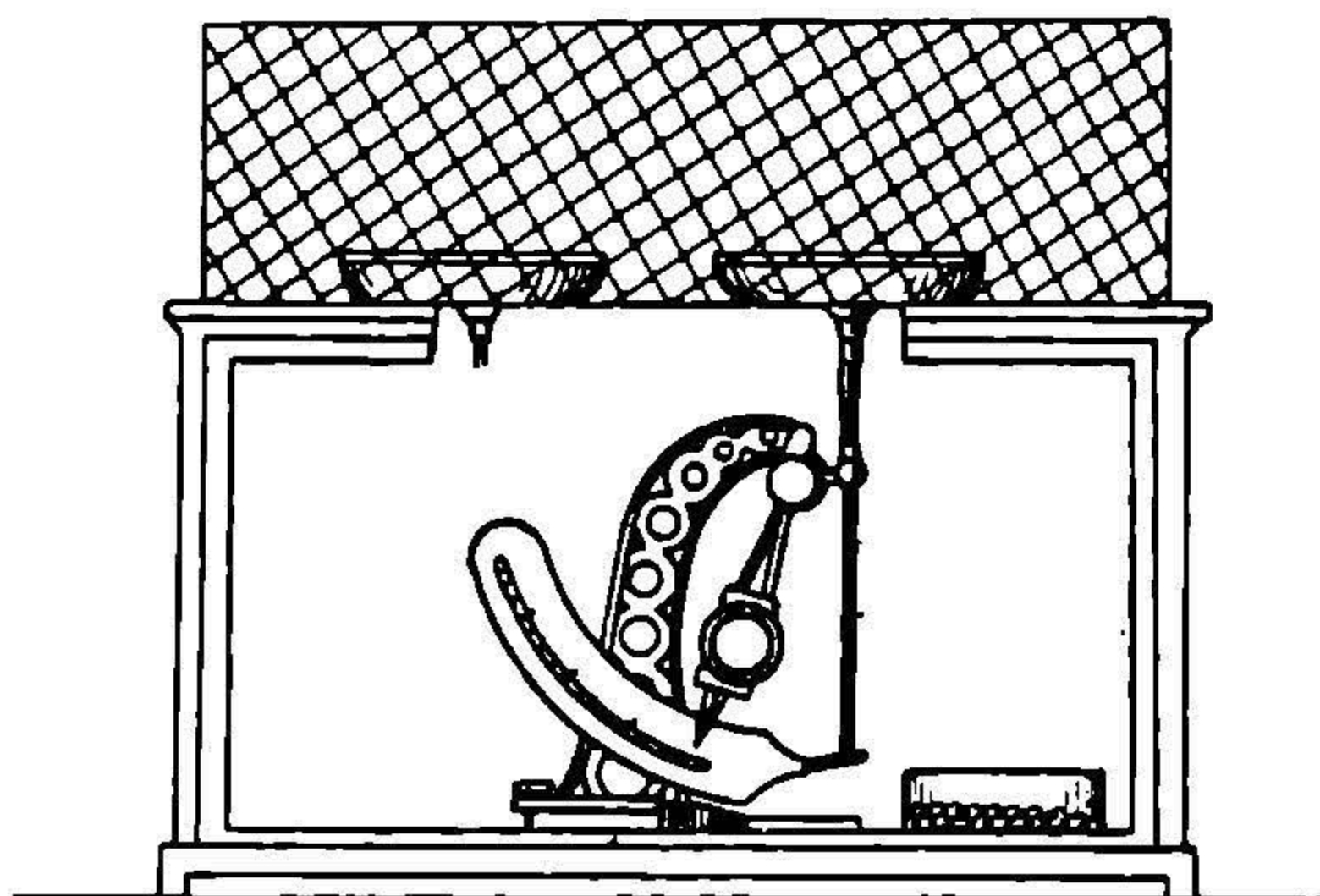
$$q = K \frac{E - e}{H} S.$$

Нужно помнить, что здесь  $E$  означает упругость насыщающих паров при температуре испаряющей поверхности. Однако эта формула дает лишь первое приближение. В ней не учитывается скорость ветра, которую нужно вводить при более точных исследованиях.

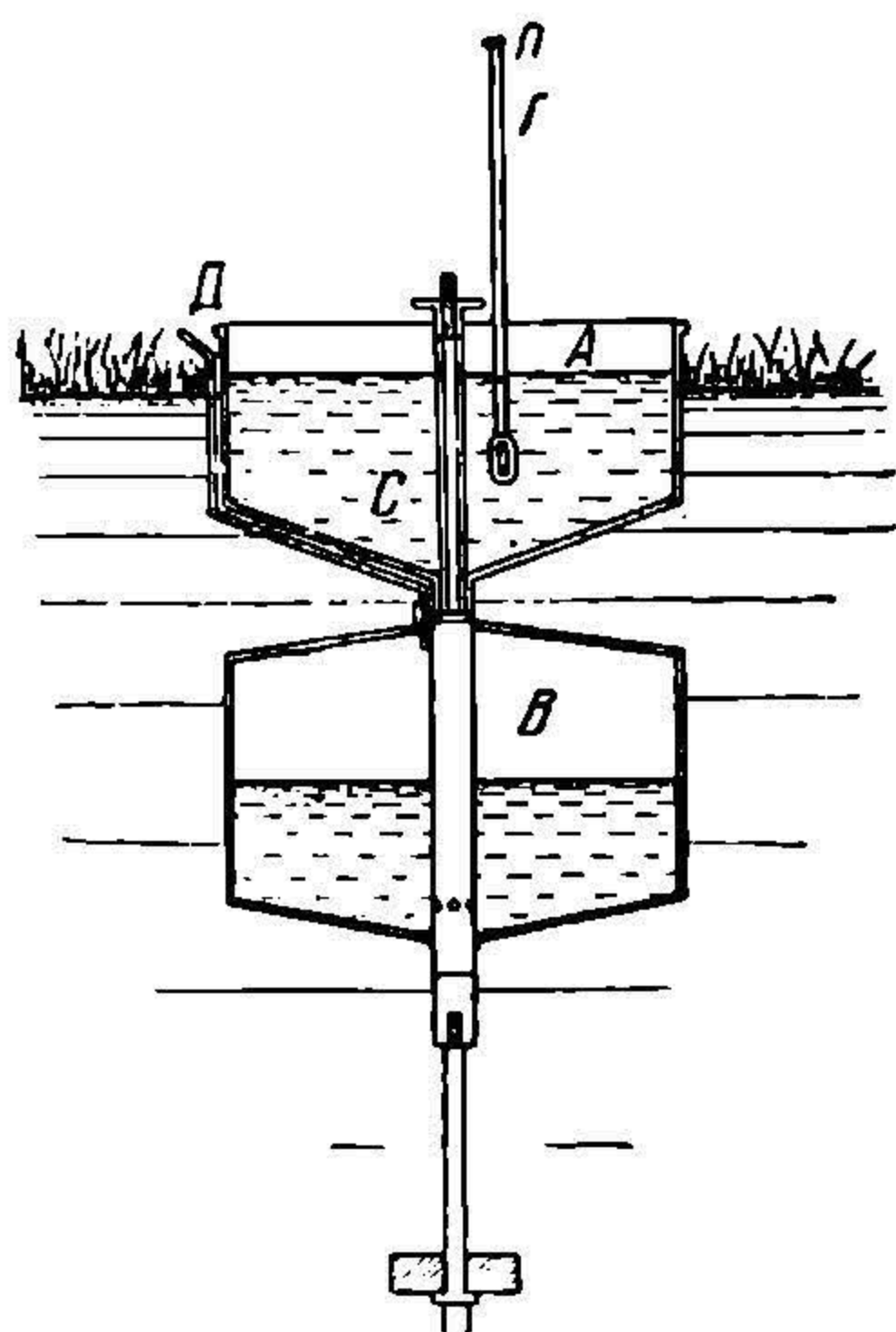
Нужно сказать, что до сих пор мы не имеем приборов, при помощи которых мы могли бы с достаточной точностью изучать испарение как с водной поверхности, так и с суши. Наиболее простым прибором для изучения испарения, правда, дающим заведомо относительные цифры, является испаритель Вильда (или, как иногда говорят, эвапорометр Вильда). Этот прибор (фиг. 13) представляет собой чашку с водой, которая ставится на короткое плечо неравноплечих весов, а на другое плечо приделывается уравнивающий груз. Чашка наполняется водой и, по мере испарения, поднимается, а в это время стрелка, приделанная к другому плечу, показывает на шкале количество (в миллиметрах) испарившейся воды. Показания прибора Вильда служат не мерой испарения воды, а дают относительные числа испаряемости, — возможного испарения.

Фиг. 14. Испаритель Лермантова-Любославского.

Для изучения испарения с водной поверхности служит прибор Лермантова-Любославского (фиг. 14). Он состоит из двух металлических резервуаров  $A$  и  $B$ , соединенных трубкой, которая может быть закрыта особой металлической пробкой  $C$ . К пробке прикреплен термометр  $T$ .



Фиг. 13. Испаритель Вильда.





При установке прибора в реке, озере и т. д. выпимают пробку *C* и наливают в нижний резервуар воды до уровня верхнего края соединяющей оба резервуара трубки. Воздух при этом выходит из нижнего резервуара при помощи тонкой боковой трубки *D*. Затем при помощи груши или небольшого насоса нагнетают через трубку *D* в нижний резервуар воздух, который вытесняет часть воды из нижнего резервуара в верхний по трубке, проходящей до дна нижнего сосуда и имеющей внизу ряд отверстий. После этого закрывают пробку *C* и оставляют прибор на то время, в течение которого желают знать испарение, например на сутки. Чтобы определить количество испарившейся воды, вынимают пробку *C*, вода стекает в нижний сосуд, но так как часть ее испарилась, то до верхнего края соединительной трубки воду доливают из мензурки. Зная количество долитой воды, которая равна испарившейся, и зная площадь сосуда, определяют (в мм) толщину испарившейся из резервуара *A* воды.

Для измерения испарения с поверхности почвы применяют испаритель Рыкачева. Он представляет собою два цинковых ящика, плотно входящих один в другой. Внешний ящик вкапывают в землю так, чтобы края его были в уровень с землею. Во внутренний ящик вставляется тщательно вырезанный по размеру ящика кусок почвы вместе с той растительностью, которая на нем есть (для дорожников интереснее брать без растительности), и ящик с землей вставляют в ящик, зарытый в землю. Рядом последовательных взвешиваний через известные промежутки времени определяют количество испарившейся воды из взятого куса почвы или грунта.

## 10. Изучение атмосферных осадков

Все водяные и ледяные образования в атмосфере носят названия гидрометеоров. К ним относятся: мелкие, невидимые простым глазом водяные частицы, облака, туманы, дождь, снег, град, крупа, роса, иней, изморозь, гололедица или гололед. Те гидрометеоры, которые выпадают на землю, называются атмосферными осадками.

Из различных видов гидрометеоров остановимся на дожде, снеге и гололедице как имеющих непосредственное практическое значение в дорожном деле.

Из причин, вызывающих появление осадков, укажем две: смешение масс воздуха различной температуры и восходящие токи воздуха. Возьмем пример на смешение двух воздушных масс. Пусть смешивается при температуре  $t=0^{\circ}$  килограмм воздуха, насыщенного водяными парами, с килограммом также насыщенного воздуха при температуре  $t=30^{\circ}$ . Получим смесь с температурой  $t_3=(0+30):2=15^{\circ}$ . Первый килограмм содержит  $v_1=3,8$  г водяных паров, второй  $v_2=26,2$  г. На каждый килограмм смеси приходится паров  $v_3=(3,8+26,2):2=15,0$  г. Но килограмм воздуха при температуре  $15^{\circ}$  насыщается всего лишь 10,5 г паров воды. Следовательно  $15,0-10,5=4,5$  г паров воды должны перейти в жидкое состояние. Таковы простейшие рассуждения; на самом деле явление происходит сложнее, так как при конденсации паров воды в жидкость выделяется скрытая теплота ожижения, которая нагревает воздух, и температура его будет несколько выше  $15^{\circ}$ , и соответственно этому выделится в жидком виде несколько меньшее количество паров.



В природных условиях смешиваемые массы воздуха имеют меньшую разность температур, и вычисления показывают, что осадки, получаемые от смешения масс воздуха, не могут быть значительными.

Восходящие токи воздуха есть главнейшая причина атмосферных осадков. Из физики известно, что воздух при расширении охлаждается. При поднятии воздух переходит в более высокие, разреженные слои и следовательно расширяется и при этом охлаждается. При поднятии больших масс воздуха мы имеем так называемый адиабатический процесс, то есть охлаждение воздуха без обмена тепла с окружающими массами воздуха, лишь за счет расширения его. При этом находящиеся в воздухе пары сначала приближаются к состоянию насыщения, а затем начинают выделяться в жидком и даже твердом виде.

При поднятии ненасыщенного пара-ми воды воздуха наблюдается 4 стадии в зависимости от охлаждения.

1. Сухая стадия — поднимаясь, воздух охлаждается до состояния насыщения парами воды (до своей точки росы). Если например внизу температура воздуха  $30^{\circ}$ , относительная влажность 50%, давление воздуха—760 мм, то сухая стадия находится на высоте 1 400 м.

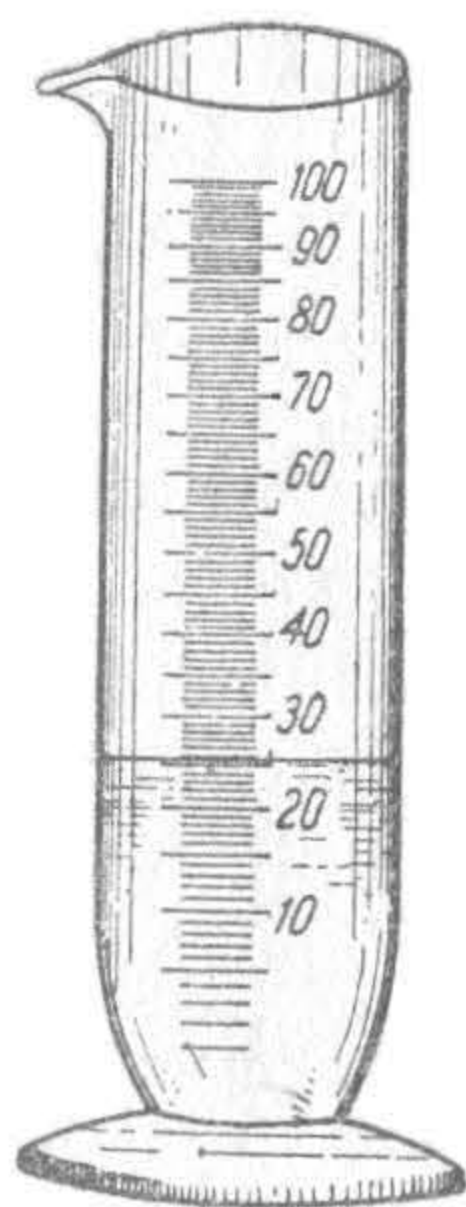
2. Стадия образования облаков и дождя — до высоты 4 800 м. Мощность этого слоя  $4\ 800 - 1\ 400 = 3\ 400$  м.

3. Стадия замерзания — температура  $0^{\circ}$  — в воздухе смесь воды в жидком и твердом состоянии до высоты 5 000 м. Мощность  $5\ 000 - 4\ 800 = 200$  м.

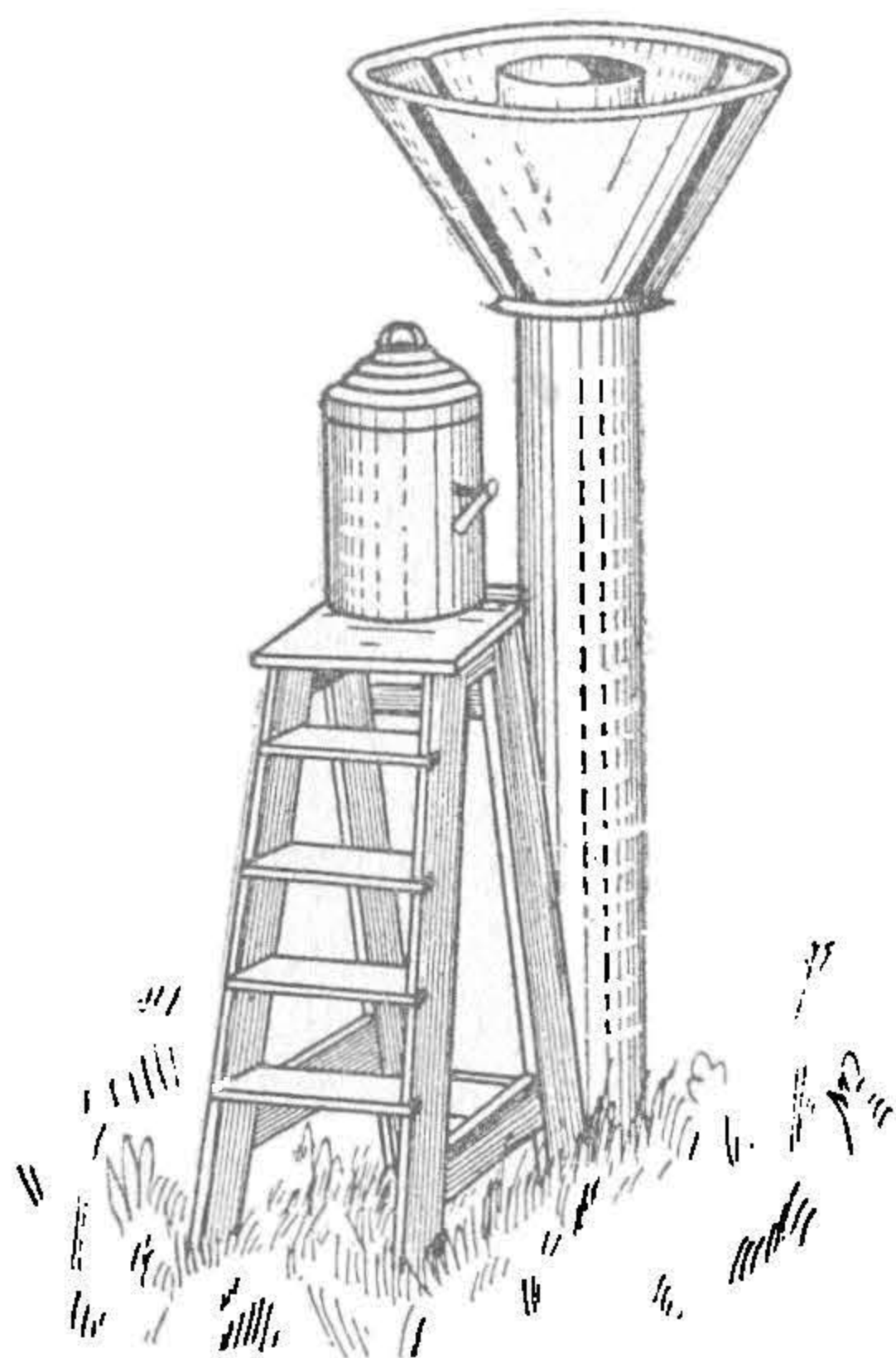
4. Снеговая стадия — температура ниже  $0^{\circ}$ . Эта стадия простирается до высоты 8 500 м.

Вычислений, обосновывающих эти данные, мы не приводим.

Для измерения осадков служит дождемер, состоящий из цинкового ведра с сечением в  $500\text{ см}^2$  (на метеорологических станциях СССР). Внутри ведра, чтобы защитить от испарения попавшие в него осадки, устраивается второе коническое, вершиной вниз, дно с отверстиями в вершине конуса для стока воды. Дождемер (фиг. 15) устанавливается так, чтобы приемная его поверхность была горизонтальна и приходилась на высоте 2 м от поверхности земли. Скопившиеся в дождемере осадки измеряются специальным измерительным стаканом (фиг. 16) и выражаются в миллиметрах выпавшего слоя осадков. Например выражение 7 м осадков значит, что слой их по высоте равен 7 мм, разумеется, исходя из предположения, что нет стока и просачивания в почву и испарения осадков. Изме-



Фиг. 16. Дождемерный стакан.



Фиг. 15. Дождемер с защитой Нифера.)



рительный стакан так рассчитан, чтобы давать число осадков в мм с десятистыми долями.

Осадки в виде снега или града сначала растаивают, а затем измеряют в жидком виде также в миллиметрах высоты.

Для защиты дождемера от выдувания из него ветром капель дождя или снежинок вокруг ведра устраивают так называемую защиту Нифера в виде опрокинутого вниз верхним основанием усеченного конуса. Там, где ветры особенно сильны, кроме защиты Нифера устраивают защиты в виде забора. Но все-таки нужно сказать, что дождемер не есть точный прибор, и при ветрах осадки, особенно снежные, учитываются не особенно точно.

Для непрерывной записи осадков существуют самопишущие дождемеры, называемые иначе дождеписцами, плювиографами или омбрографами. По этим приборам можно узнать высоту осадков за любой промежуток времени. Плювиографы — незаменимые приборы при изучении ливней. Особенно употребителен сифонный плювиограф Гельмана, но он пригоден только для осадков в жидком виде.

Если взять продолжительность дождя в минутах от момента начала его до момента окончания и разделить на это число сумму осадков этого дождя, выраженную в миллиметрах, то получим интенсивность дождя.

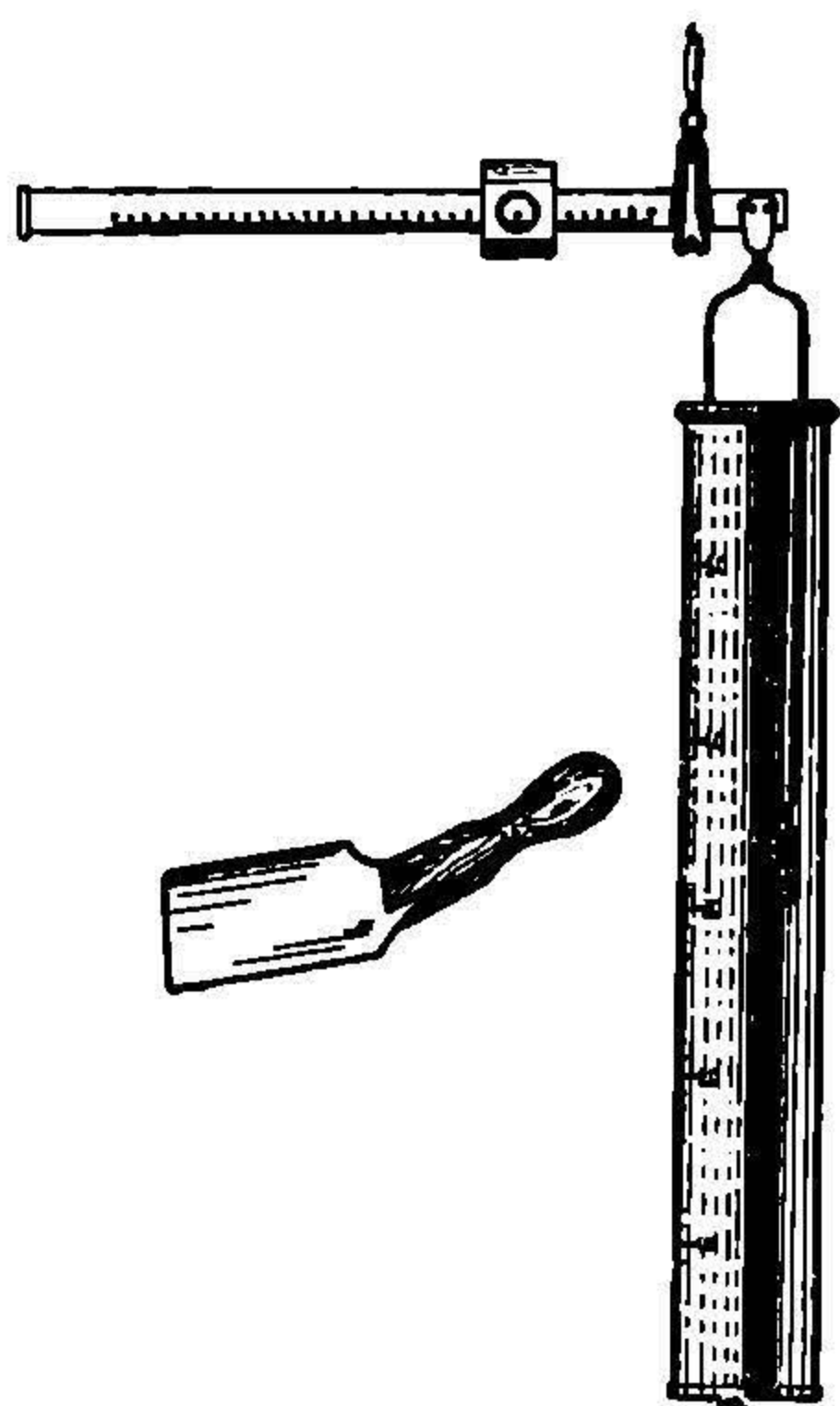
Получаем таким образом для интенсивности  $i$  такую формулу:

$$i = \frac{s}{t},$$

где

$s$  — сумма осадков дождя в мм;

$t$  — продолжительность дождя в минутах.



Фиг. 17. Весовой снегомер (плотномер).

## 11. Изучение плотности снега

При изучении снежного покрова измеряют его высоту и плотность. Для определения высоты ставят одну или несколько реек с делениями в сантиметрах. Рейки нужно ставить в таких местах, где снег ложится ровным слоем и не передувается ветром, и так, чтобы нуль рейки приходился на уровне почвы. Плотность снега определяют при помощи особого металлического цилиндра с делениями сбоку (в сантиметрах). Его вставляют в снег до земли и снежный столбик в цилиндре осторожно подрезают снизу особой лопаточкой. Зная площадь поперечного сечения цилиндра и высоту снега, определяют его объем. Растворив снег, узнают объем воды, которая получилась из снега. Частное от деления объема воды на объем снега и будет плотностью снежного покрова. Разумеется, можно определять плотность и взвешивая снег, взятый из снежного покрова, прибором, и деля число, выражающее вес снега в граммах, на число, выражающее объем снега в сантиметрах.

Для определения запаса воды в снежном покрове на известной площади производят снегомерную съемку на ней, определяя в ряде точек



высоту снега переносной рейкой, а плотность в тех же точках — прибором для определения плотности. В данном случае удобен весовой снегомер (плотномер), в котором плотность снега определяют тут же в поле приспособленными к прибору весами (фиг. 17).

## 12. Изучение ветра

Воздух очень редко находится в спокойном состоянии, а постоянно перемещается как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Горизонтальные потоки воздуха называются ветрами. При изучении ветров отличают направление ветра и его скорость, а со скоростью связана и сила ветра или производимое им давление.

Направление ветра обозначают той страной горизонта, откуда ветер дует к наблюдателю. Окружность горизонта делится на 16 румбов N, NNE, NE и т. д.

Скорость ветра выражается числом метров, проходимых воздухом в секунду. Иногда употребляется шкала Бофорта. Давление ветра измеряется в кг на м<sup>2</sup>.

Даем характеристику ветров по силе и расшифровку шкалы Бофорта, как она принята метеорологическими учреждениями всех государств земного шара, в том числе Главной геофизической обсерваторией.

| Баллы по<br>Бофорту | Характеристика ветра | м/сек     |
|---------------------|----------------------|-----------|
| 0                   | Штиль                | 0—0,5     |
| 1                   | Тихий ветер          | 0,6—1,7   |
| 2                   | Мягкий               | 1,8—3,3   |
| 3                   | Слабый               | 3,4—5,2   |
| 4                   | Умеренный            | 5,3—7,4   |
| 5                   | Свежий               | 7,5—9,8   |
| 6                   | Сильный              | 9,9—12,4  |
| 7                   | Крепкий              | 12,5—15,2 |
| 8                   | Очень крепкий        | 15,3—18,2 |
| 9                   | Шторм                | 18,3—21,5 |
| 10                  | Сильный шторм        | 21,6—24,4 |
| 11                  | Жестокий             | 24,5—29,0 |
| 12                  | Ураган               | больше 29 |

Существуют и другие шкалы и другие характеристики ветра.

Зависимость между скоростью ветра и производимым им давлением на перпендикулярно установленную площадку выражают следующей приближенной формулой Ренара

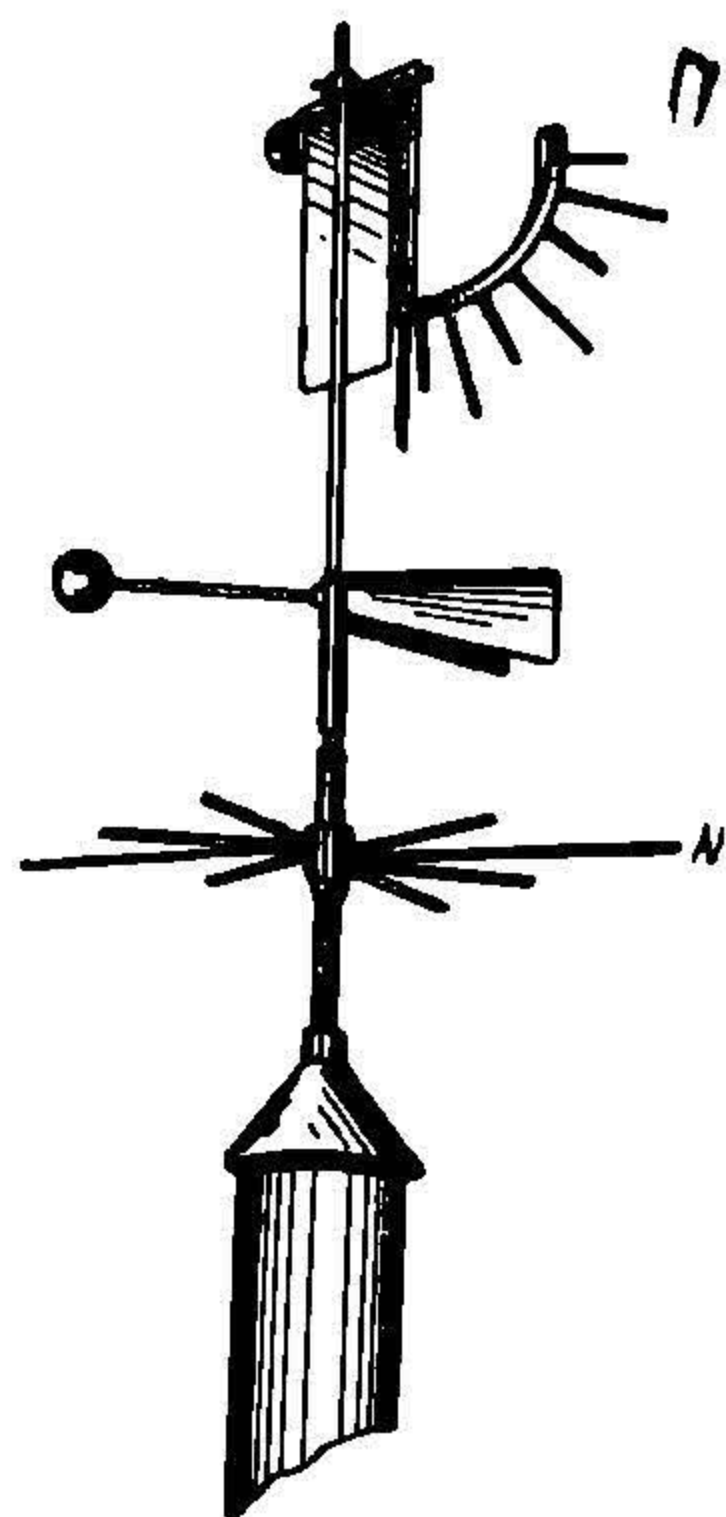
$$p = Av^2,$$

где  $p$  — давление в кг/м<sup>2</sup>,  $v$  — скорость ветра в м/сек, и  $A$  — коэффициент, определяемый из опыта. Ренар дает  $A=0,125$ .

На метеорологических станциях нашего Союза для измерения направления и скорости ветра служит флюгер Вильда (фиг. 18). Направление ветра определяется флюгаркой — системой из двух установленных под не-



большим углом вертикальных досок, снабженных с противоположной стороны противовесом в виде небольшого металлического шара. Эта флюгарка вращается на вертикальном стержне и под влиянием ветра устанавливается противовесом навстречу ветру. Ниже



Фиг. 18. Флюгер.

укреплены неподвижно восемь горизонтальных стержней, которые при установке флюгера ориентируются по странам света. У стержня, направленного к северу, укрепляется буква N. По этим стержням и определяют направление ветра. Скорость ветра определяется прикрепленной сверху прибора доской, вращающейся около горизонтальной оси. Под влиянием ветра доска отклоняется от вертикального положения.

Рама доски скреплена с флюгаркой так, что плоскость доски всегда устанавливается нормально к направлению ветра. Обозначим величину давления ветра (в  $\text{кг/м}^2$ ) через  $P$ , а площадь доски через  $S$ , тогда давление ветра на доску при вертикальном ее положении равно  $PS$ . Под действием ветра доска отклоняется на некоторый угол  $\alpha$  (фиг. 19) и занимает положение  $AC$ . На доску действуют две силы, которые можно рассматривать в простейшем случае как приложенные к ее центру тяжести: вес доски обозначим через  $g$ , а давление

ветра на отклоненную доску через  $p = PS \cdot \cos \alpha$ . Каждая из этих сил может быть разложена на две: одну в плоскости доски (уравновешивается сопротивлением точек опоры оси вращения доски) и другую — перпендикулярно к доске; это будут силы  $b$  и  $c$ . Для равновесия отклоненной от вертикали на угол  $\alpha$  доски необходимо, чтобы  $b = c$ ; но  $b = g \sin \alpha$ ;  $c = p \cos \alpha = PS \cos^2 \alpha$ ; следовательно:

$$[g \sin \alpha = PS \cdot \cos^2 \alpha,$$

откуда

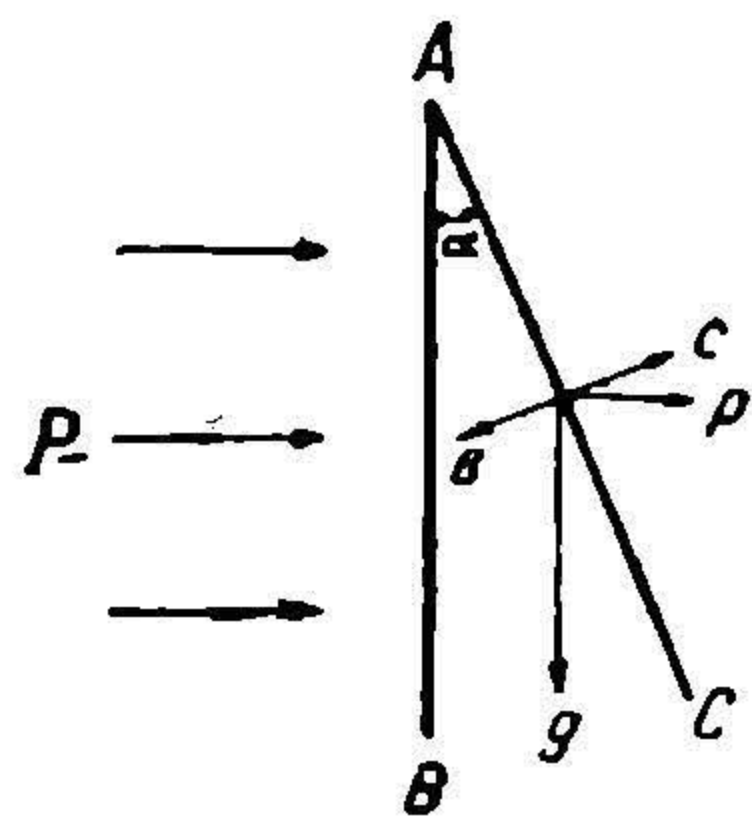
$$P = \frac{g \sin \alpha}{S \cdot \cos^2 \alpha}.$$

При небольших отклонениях доски можно принять с некоторой погрешностью

$$\frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} = \operatorname{tg} \alpha,$$

т. е.

$$P = \frac{g}{S} \operatorname{tg} \alpha.$$



Фиг. 19. Действие ветра на флюгер.

По формуле Ренара соотношение между скоростью ветра  $v$  и давлением его на подвижную доску приближенно выражается следующим образом:  $P = 0,125 v^2$ , поэтому в первом приближении

$$v = \sqrt{\frac{g}{0,125 S} \cdot \operatorname{tg} \alpha} = A \sqrt{\operatorname{tg} \alpha}.$$



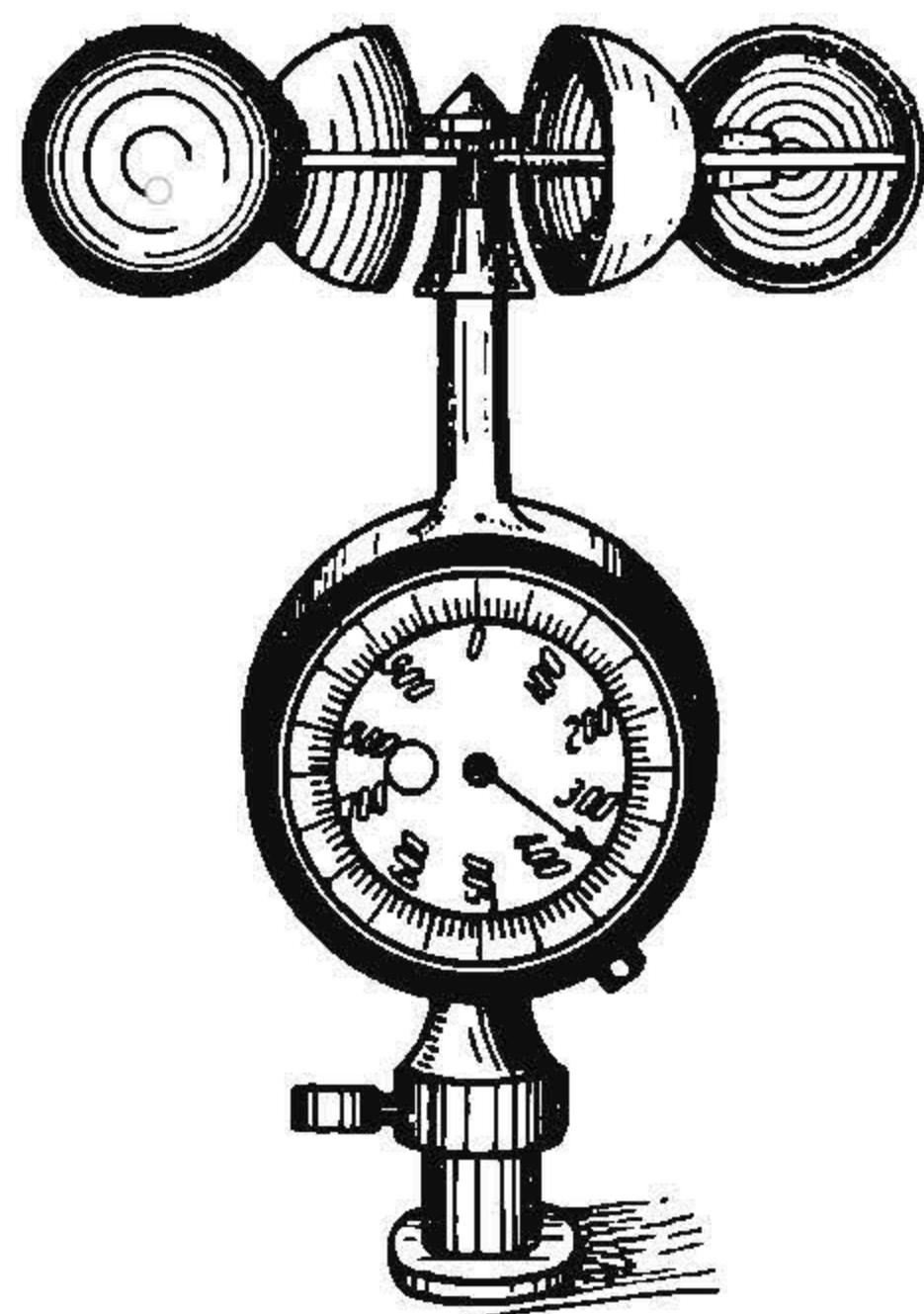
Ввиду действительной сложности теории явления, углы отклонения доски при различных скоростях ветра находятся эмпирически, тарированием прибора в аэродинамической трубе или на ротационной машине.

В этом случае при известной скорости ветрового потока определяют действительный угол отклонения доски флюгера, и, согласно с этим, на особой дуге, прикрепленной к раме, располагаются штифты, показывающие положение доски через 2 м скорости ветра.

После установки флюгера на месте ведутся наблюдения по положению доски относительно этих штифтов.

Флюгер устанавливают на столбе высотой 6—8 м и выше или на высоком здании так, чтобы соседние здания или деревья не мешали ветру. Для дорожных целей нужно знать скорость ветра у самой поверхности земли, чего флюгер не дает. Нужны переводные коэффициенты для перевода скорости ветра от высоты флюгера к поверхности земли; такие коэффициенты пока еще не выработаны.

Для наблюдений на дорогах удобен ручной анемометр Фуса-Робинсона (фиг. 20). В этом приборе имеется горизонтальный крест из металлических прутьев, укрепленный на вертикальной оси. К концам прутьев креста приделаны четыре полые полушария, обращенные выпуклостью в одну сторону. При ветре такая система чашек всегда вращается выпуклой частью чашек вперед. Вращение вертикальной оси помощью бесконечного винта и зубчаток передается стрелке, которая и указывает число оборотов стержня в единицу времени.



Фиг. 20. Анемометр.

При помощи таблицы число оборотов переводится на скорость ветра.

Очевидно, что между скоростью ветра  $v$  и числом оборотов  $n$ , совершаемых крестом в единицу времени, существует зависимость. Мы можем считать, что скорость ветра  $v$  есть некоторая функция  $n$ , т. е.  $v = f(n)$ . Надо определить вид этой функции. Обычно ее выражают эмпирической формулой вида:

$$v = a + bn + cn^2,$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — постоянные коэффициенты, которые определяют наблюдениями на специальном приборе. Допускают, что число оборотов  $n$  остается одинаково в обоих случаях — если воздух движется со скоростью  $v$  мимо неподвижного анемометра или если анемометр движется со скоростью  $v$  в неподвижном воздухе.

Если путь, пройденный анемометром на ротационной машине в течение  $t$  сек., равен  $N$ , а число оборотов за это время было  $m$ , то скорость  $v = N : t$ , число же оборотов в секунду  $n = m : t$ . Передвигая анемометр второй раз по пути  $N$ , со скоростью  $v_1$ , во время  $t_1$  сек., при числе оборотов  $m_1$ , получим, что  $v_1 = N_1 : t_1$ , а число оборотов в секунду  $n_1 = m_1 : t_1$ . Каждая такая пара выражений дает скорость и соответствующее число оборотов в секунду, следовательно должна удовлетворять приведенному



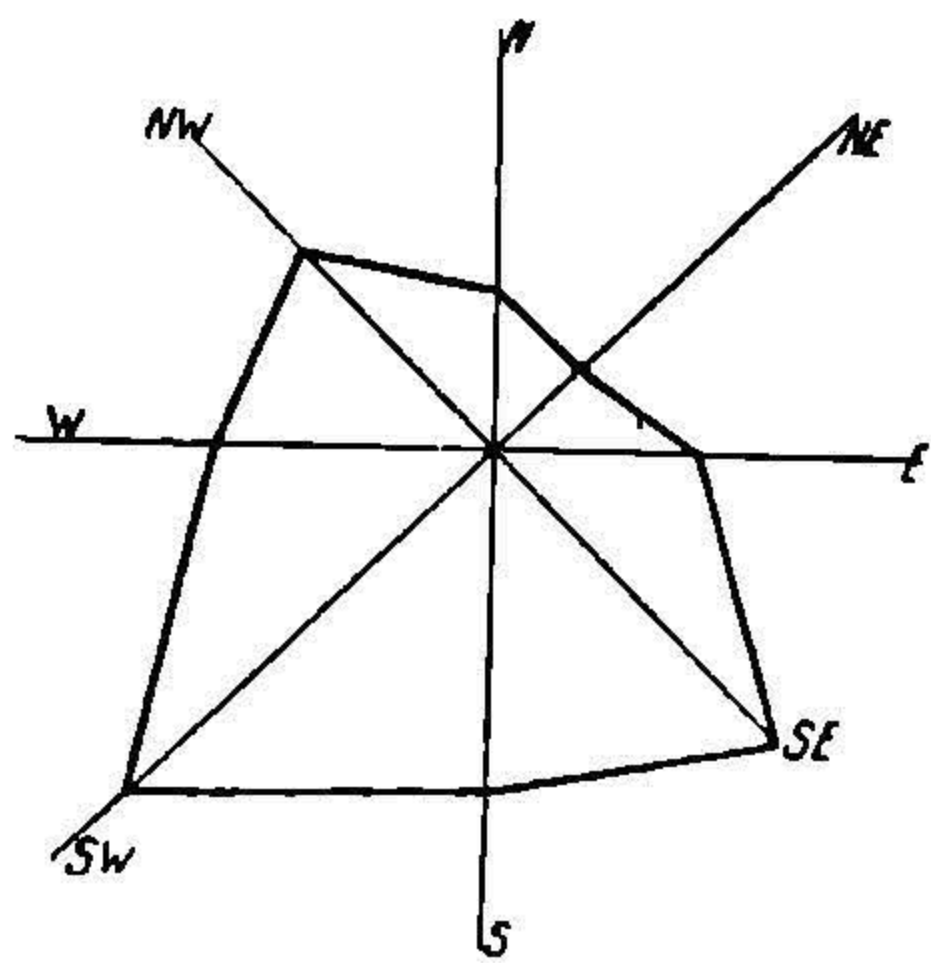
выше уравнению, связывающему  $v$  и  $n$ . Из этих наблюдений, по способу наименьших квадратов, можно определить коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Для каждого анемометра определяются его поправки при разных скоростях ветра, составляется кривая поправок и выдается поверочное свидетельство.

Ручным анемометром можно с удобством определять скорость ветра на любой высоте, начиная от поверхности полотна дороги.

При горизонтальном передвижении масс воздуха одновременно имеются и вертикальные слагающие. Кроме того воздух часто имеет вихревые движения, но об измерении тех и других мы говорить не будем.

Имеются и самопишущие приборы по определению направления и скорости ветра — анемографы различных систем.

**Розы ветров.** При проектировании дороги или при разработке плана снегозащитных мер и для других целей дорожной климатологии необходимо учитывать преобладающее направление или равнодействующую ветра. Если для данного района не имеется разработанных климатологических материалов, из которых можно почерпнуть эти сведения, приходится обратиться к накопленным наблюдениям местных метеорологических станций и по этим материалам вычислить эти данности. Для получения более или менее надежных результатов желательно обработать материалы наблюдений над ветром не менее, чем за 10-летний период. Ввиду большого практического значения этих данных изложим вкратце метод их вычисления.



Фиг. 21. Роза ветров.

Повторяемость ветров различных направлений, выраженная в процентах и особым способом графически представленная, называется розой ветров. Для построения розы ветров по таблицам ежедневных наблюдений сосчитывается число случаев ветра отдельно по каждому направлению и число штилей<sup>1</sup>.

Число случаев по каждому из направлений представляется в процентах от общей суммы случаев. Полученные данные выражают повторяемость ветра (в процентах) по каждому из направлений. Эти величины позволяют заключить, по какому направлению ветер дует чаще других, т. е. какое направление является преобладающим в данном районе и в какой степени. Для наглядности данные повторяемости ветра откладывают в масштабе по соответствующим направлениям на прямых из общего центра и концы соединяют ломаной линией. Получается чертёж (фиг. 21), называемый розой ветров по направлениям. В представленной розе ветров преобладающими являются ветры юго-западного направле-

<sup>1</sup> На метеорологических станциях направление ветра регистрируется по 16 румбам, однако для практических целей достаточно построить розу ветров только по 8 румбам. Для этого ветры восьми направлений, обозначаемых тремя буквами (NNE, ENE и т. д.), распределяются поровну между соседними направлениями (обозначаемыми одной и двумя буквами). При нечетном числе случаев лишний случай прикладывается к направлению, имеющему при первоначальном подсчете большее число случаев. Проведя такое разделение ветров трехбуквенных направлений, получаем ту же сумму случаев, но распределенную по 8 направлениям.

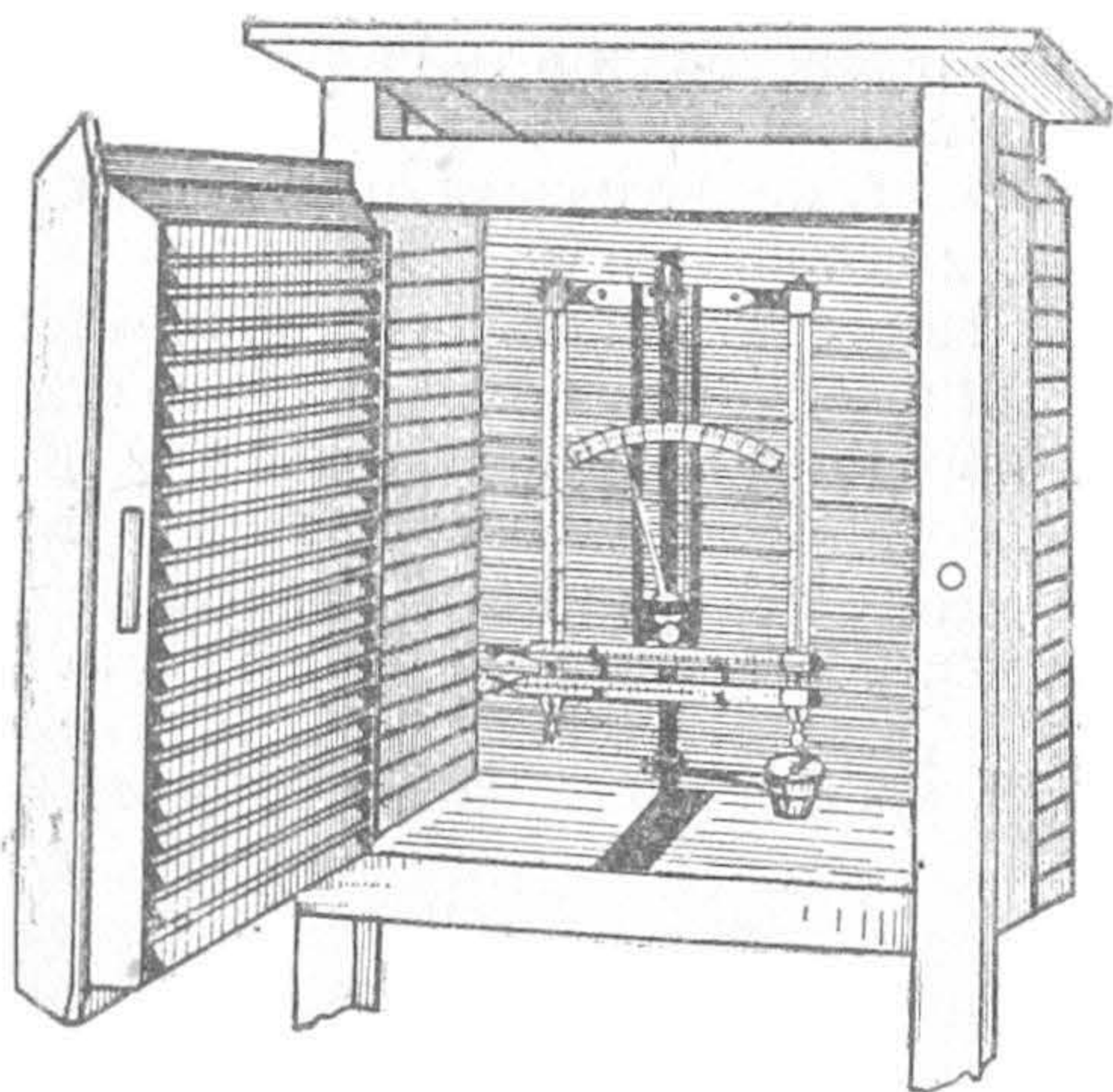


ния. Такую же розу можно построить для средних скоростей ветра, для этого по каждому направлению нужно сосчитать число случаев ветра, просуммировать его скорости и вычислить среднюю скорость данного направления за ряд лет как для года, так и для отдельных сезонов и месяцев.

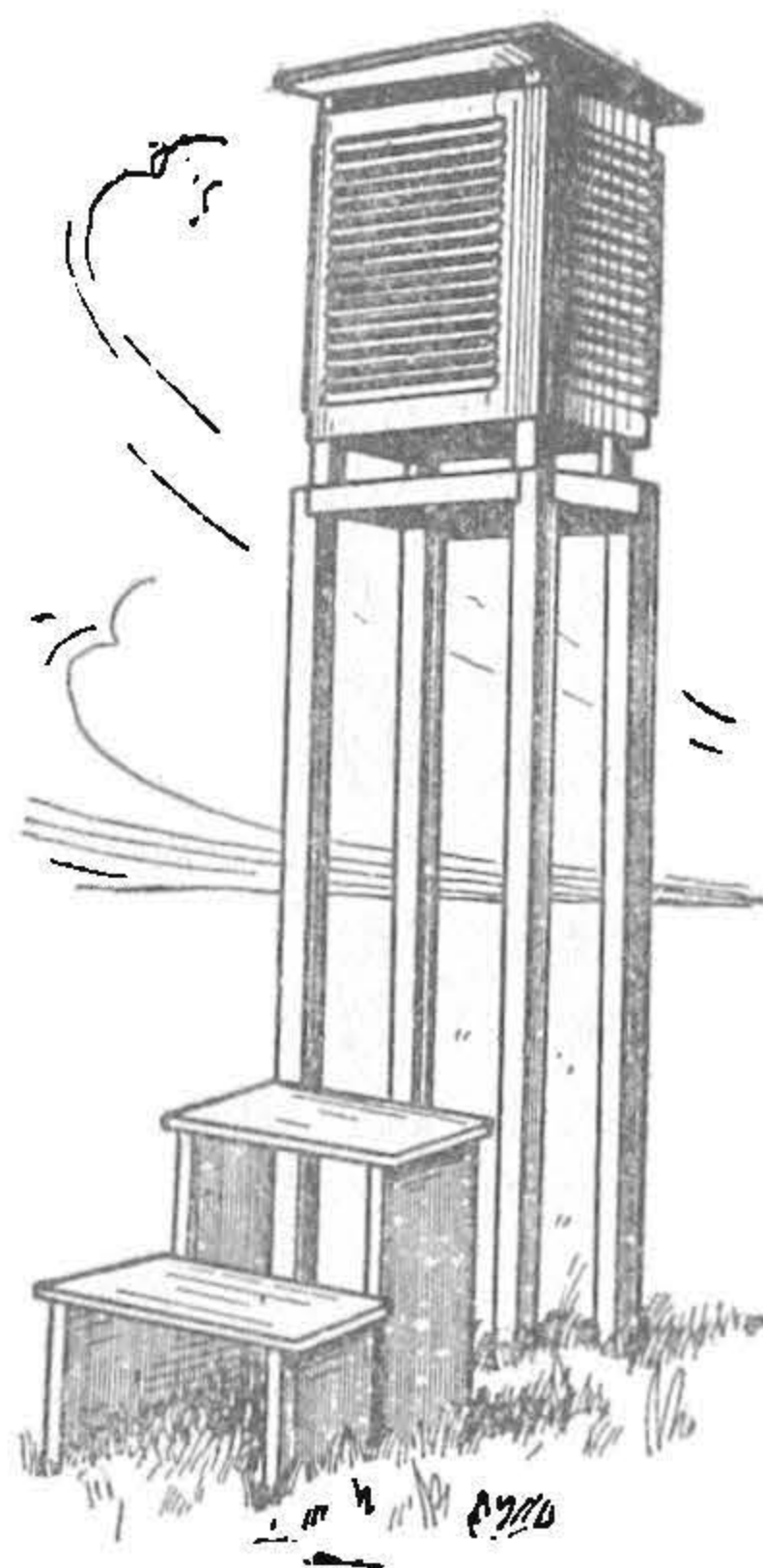
Для целей снегоборьбы следует строить розы ветров только по зимнему периоду и для ветров, вызывающих перенос снега, т. е. начиная от скорости в 6 м/сек.

### 13. Метеорологические станции

Как мы говорили выше, для наблюдений за метеорологическими элементами по территории СССР разбросаны метеорологические станции, на которых и устанавливаются перечисленные выше приборы, а также и приборы для изучения тех метеорологических элементов, которые нами не приведены.



Фиг. 22. Внутренний вид английской будки.



Фиг. 23. Общий вид английской будки.

Приборы на станциях устанавливают по определенной для всех одинаковой системе. Так, сухой, смоченный, максимальный и минимальный термометры, а также волосной гигрометр Соссюра помещают в особой будке — ныне принятой английского типа. Это небольшая будка со стенками из двойного жалюзи с двойной сплошной крышей (фиг. 22 и 23). Будка укрепляется на врытых в землю столбиках так, чтобы шарики сухого и смоченного термометров были на высоте 2 м от поверхности почвы. Дверка будки должна быть направлена на север. Батист около шарика смоченного термометра завязывается в виде определенного узла и для смачивания его пользуются дистиллированной (или дождевой) водой. Приемная поверхность дождемера устанавливается на высоте 2 м. На пространстве нашего Союза вы везде найдете однообразную установку



и однообразные методы наблюдений. Для соблюдения такого единства Главной геофизической обсерваторией в Ленинграде, а также и другими республиканскими метеорологическими центрами издаются специальные инструкции как об установке приборов, так и о способах наблюдений. Самые наблюдения производятся везде в одинаковые сроки — в 7, 13 и 21 час по местному времени. Инспектора от центральных учреждений посещают станции и проверяют работу и приборов и наблюдателей.

#### 14. Использование материалов наблюдений

Получаемые таким образом материалы наблюдений метеорологических станций могут быть использованы, в главнейшем, двояким образом:

Во-первых, сопоставляя значения одновременно наблюдаемых физических характеристик воздуха (давление, температура, влажность, ветер и т. д.), мы получаем возможность составить представление о распределении этих характеристик в пространстве для какого-либо момента одновременных наблюдений. Нанося цифровые характеристики на географические карты, мы получаем одновременные (синоптические) карты этих характеристик. Анализ этих карт позволяет констатировать различные погодные условия, действительно наблюдающиеся в той или другой местности, и делать суждение о возможности изменения этих условий. Наука, занимающаяся этими вопросами, носит название синоптики. Основания ее будут изложены дальше в особой главе.

С другой стороны, накапливая многолетний наблюдательный материал метеорологических станций, мы можем анализировать его со стороны наиболее встречающихся типичных погодных процессов в той или другой местности, а также тех отклонений, которые могут встречаться в различные сезоны года в течение того или иного периода времени. Это рассмотрение дает черты климата данной местности, области, части света и наконец земного шара.



## СИНОПТИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

## I. Погода и ее предсказание

Погода есть взаимосвязанное сочетание метеорологических фактов (элементов), наблюдающееся над данным пунктом или районом в некоторый определенный момент или относительно короткий промежуток времени. Обычно говорят о погоде, наблюдавшейся в определенный момент («погода момента наблюдения»), о погоде некоторой части суток или дня («погода утром»), о погоде даже нескольких дней («эту пятидневку наблюдалась пасмурная с осадками погода»). Но все же чем больший временной промежуток мы хотим охарактеризовать с точки зрения погоды, тем это сделать труднее. В последнем случае мы уже говорим о частоте того или иного типа погоды, имевшей место в истекший месяц, сезон, полугодие или год, т. е. вносим в погодную характеристику некоторого длительного периода уже нечто от климатологии. Погода с точки зрения современного учения о ней является функцией следующих основных факторов: воздушных масс и поверхностей раздела между различного происхождения воздушными массами, так называемых фронтов. Если удерживается над данным районом длительно некоторая воздушная масса, — удерживается над ним примерно без особо существенных изменений и свойственный этой воздушной массе характер погоды. Приход иной воздушной массы сопровождается предварительно прохождением через район наблюдения фронта — поверхности раздела между отступающей воздушной массой и идущей ей на смену новой. Это прохождение фронта характеризуется типичной для него погодой, а приход за фронтом новой воздушной массы приносит новое изменение погоды — погода фронта сменяется погодой, свойственной пришедшей новой воздушной массе.

Воздушной массой мы будем называть такой объем воздуха, приход которого приводит к изменению над данной территорией главнейших или всех метеорологических элементов, характеризующих погоду.

Третьим не менее существенным фактором, определяющим погоду, являются развивающиеся в тропосфере в результате ее фронтообразующей деятельности вихревые возмущения — циклоны и антициклоны.

## 2. Распределение атмосферного давления по земной поверхности

Движение воздушных масс в основном определяется полем давления, почему в первую очередь рассмотрим кратко среднее распределение атмосферного давления на поверхности земли.

В современной науке о погоде атмосферное давление измеряют в миллибарах. Бар равен давлению в 1 000 000 дин на 1 см<sup>2</sup>. Тысячная доля бара — миллибар равен 0,75 мм. Помня, что 1 миллиметр = 1,33 миллибара, что 1 000 миллибар = 750,1 миллиметра, легко перевести давление, выраженное в мм, в миллибары или обратно.



Если соединить все точки пространства, в которых атмосферное давление одинаково, то получим поверхности равного атмосферного давления, носящие название изобарических. Они как правило ввиду неравномерного в основном нагрева земной поверхности и в силу некоторых других причин, не горизонтальны, а наклонны. Угол наклона изобарных поверхностей к земной поверхности измеряется долями минуты и лишь в исключительных случаях достигает нескольких минут.

Линии пересечения изобарных поверхностей с поверхностью земли дадут линии равного атмосферного давления — изобары. В общем случае это кривые линии.

Если мы нанесем на карту средние годовые значения атмосферного давления метеорологической сети мира и проведем изобары, то получим графическое отображение среднего годового распределения атмосферного давления на поверхности земли.

Вдоль всего термического экватора несколько смещенной в сторону северного полушария лежит зона пониженного давления — барический экватор. К северу и к югу от него давление повышается, достигая наибольшего значения в субтропических широтах (между  $30^\circ$  и  $35^\circ$  С и Ю широты). Вдоль тропика Рака и тропика Козерога лежат широкие зоны высоких давлений, так называемые субтропические максимумы (в среднем 1016,4 мб в северном полушарии, 1017,9 мб в южном полушарии). От субтропиков в сторону полюсов давление понижается снова, достигая минимума примерно около  $60-65^\circ$  С и Ю широты. Среднее годовое значение атмосферного давления в этих широтах северного полушария в среднем 1011,2 мб и южного — 988,8 мб.

От этих зон минимумов давление к полюсам снова растет.

Если бы земля не вращалась и ее поверхность была бы однородной, то распределение воздушных масс, а следовательно и атмосферного давления определялось бы лишь термической разницей между ее экваториальной и полярными зонами.

Более высокая температура вызвала бы над экваториальной зоной восходящий воздушный поток, а следовательно дефицит воздушных масс в нижних слоях и отсюда низкое давление в экваториальной зоне. На известной высоте восходящий поток расчленился бы на два направленных к полюсам течения. Над холодными полярными районами оба течения получили бы нисходящее движение. Здесь получился бы избыток холодных и плотных воздушных масс, а следовательно зоны высокого давления. У поверхности земли вся циркуляция замыкалась бы компенсирующими потоками от полюсов к экватору <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Подобная циркуляция, имеющая место между экваториальной зоной и субтропическим кольцом высоких давлений обоих полушарий, носит название пассатной циркуляции. Нижние течения — от NE в северном полушарии и от SE в южном — носят название пассатов, противоположно им направленные в верхних слоях течения — от SW в северном полушарии и NW в южном — антипассатов.

Подобными же, термически обусловленными циркуляциями, но меньшего масштаба, являются циркуляции — муссонная и бризовая. Муссоны, сезонные ветры, дующие летом с относительно холодного океана на перегретый материк, а зимой с переохлажденной суши в сторону относительно теплого океана (например индийские муссоны). Бризовая циркуляция подобна муссонной, но период ее суточный. Днем бриз дует со стороны относительно холодного моря в сторону перегретого берега суши, ночью обратно.



Таким образом, мы имели бы одну экваториальную зону низкого давления и две зоны высокого давления над полюсами.

Вращение земли вокруг оси вносит наиболее существенное изменение в изложенную схему. В силу вращения земли всякое движущееся тело в северном полушарии отклоняется вправо, в южном полушарии — влево.

Поэтому южный вначале поток, оттекающий от экватора в верхних слоях тропосферы к северному полюсу, под влиянием отклоняющего действия вращения земли постепенно переходит в юго-западный (антипассат) и примерно под  $30^\circ$  северной широты западный поток. Лишь меньшая часть из увлекаемого этим западным потоком воздуха направляется все же в сторону полюса, проходя над умеренными широтами в самых верхних слоях тропосферы. Основная же масса удерживается в мощном западном потоке вдоль примерно  $30^\circ$  С и Ю широты. Создающееся благодаря этому накопление воздуха приводит к образованию таким образом динамически обусловленных субтропических областей высокого давления.

Наконец неоднородность структуры поверхности земли (существование материков и океанов) и сезонные изменения термического поля земли являются причиной новых существенных особенностей в распределении атмосферного давления по земному шару.

Так, карта январских изобар (фиг. 24) показывает, что барический экватор несколько смещен в южное полушарие. Над выхолаженными материками северного полушария развиты обширные термически обусловленные области высокого давления (над Азией около 1 040 мб). Азорский и тихоокеанский максимумы несколько ослабели. Над северными же частями Атлантического и Тихого океанов хорошо выражены соответственно исландский и алеутский минимумы.

В июле, наоборот, над океанами хорошо развиты максимумы (фиг. 25). Исландский минимум ослабел, почти нет алеутского минимума. Над материками Евразии и Америки имеются уже также термически обусловленные минимумы.

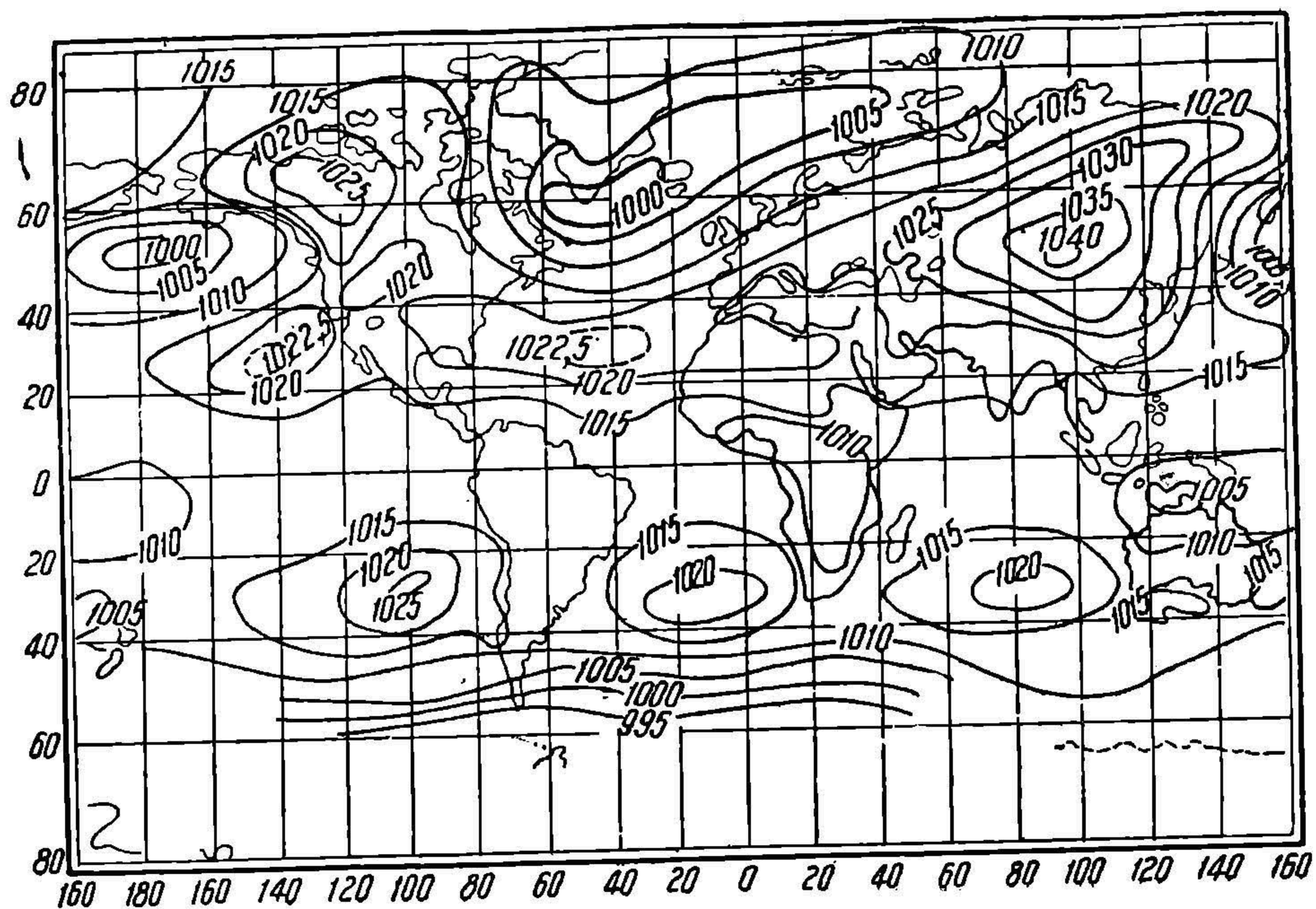
### 3. Атмосферное давление и ветер

Ветер, т. е. горизонтальный перенос воздуха, является результатом неравномерности распределения давления. Ветер дует от высокого давления к низкому, стремясь выровнять имеющиеся неравенства атмосферного давления между двумя зонами земли. В середине прошлого столетия Стевенсон ввел понятие о горизонтальном градиенте давления. Горизонтальным градиентом давления называют падение атмосферного давления на расстоянии градуса меридиана (111 км), выраженное в мм (или в миллибарах). Градиент направлен от высокого давления к низкому по перпендикуляру к изобаре.

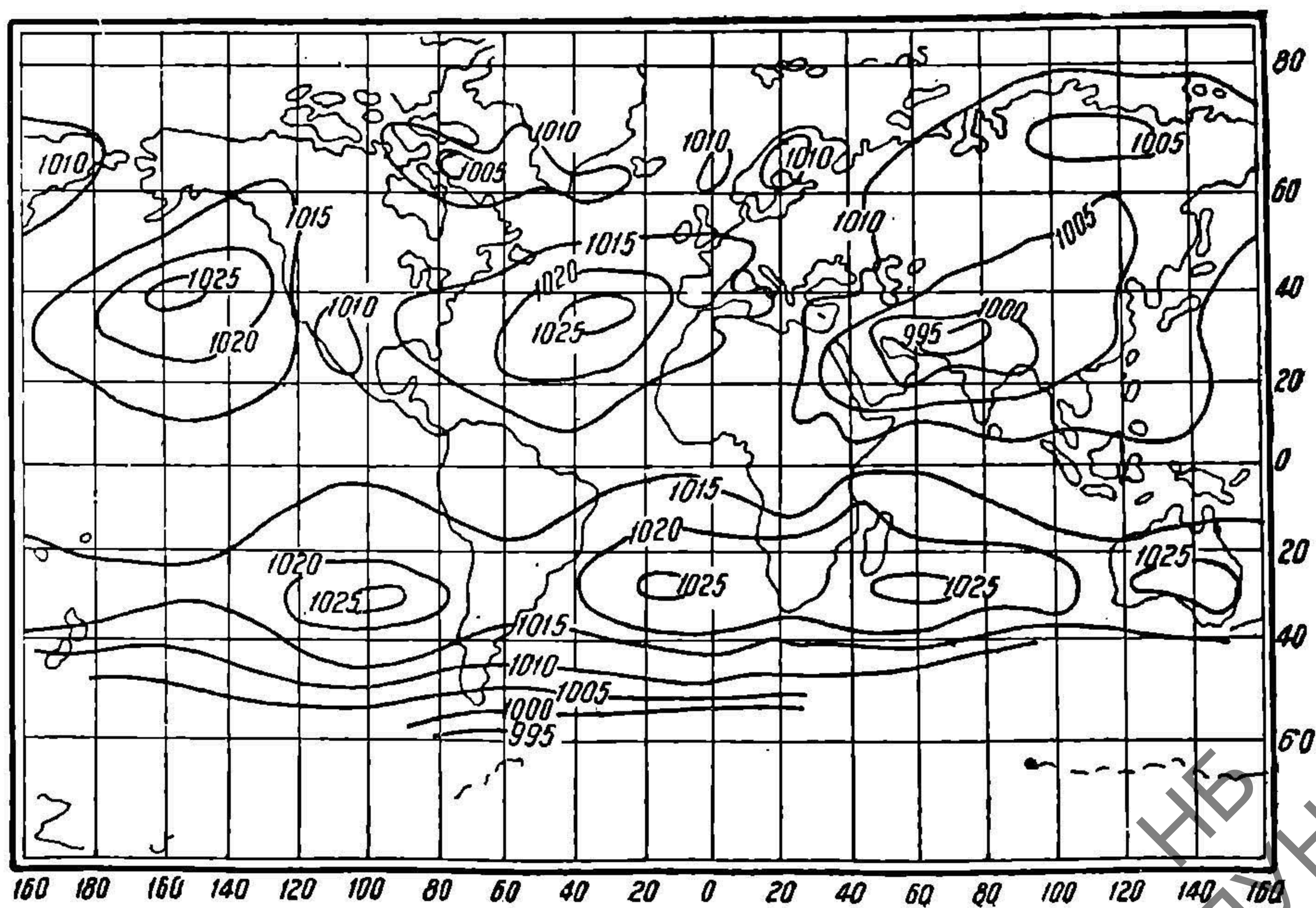
Стевенсон показал, что при установившемся прямолинейном и равномерном движении воздуха скорость ветра можно принять прямо пропорциональной градиенту давления (при этом широта не должна изменяться значительно).

Если бы не было вращения земли и трения, воздушная частица двигалась бы по направлению градиента давления. Вращение же земли отклоняет весь воздушный поток вправо от направления движения.





Фиг. 24. Изобары января.



Фиг. 25. Изобары июля.



Поэтому ветер образует с градиентом угол от  $60^\circ$  над сушей до  $75^\circ$  у берегов. Бюйс-Балло дал закон, пользуясь которым можно по направлению ветра определить положение относительно наблюдателя центров высокого и низкого давлений. Этот закон гласит: если стать спиной к ветру, то низкое давление будет несколько впереди и влево, а высокое — несколько позади и вправо.

Направление движения произвольно выбранной частицы воздуха определяется направлением равнодействующей: 1) движущей силы градиента, 2) силы отклоняющего действия вращения земли, всегда перпендикулярной направлению движения, и 3) силы трения, направленной в первом приближении противоположно направлению движения.

Зависимость направления и силы ветра от распределения давления позволяет понять ветровые системы, связанные с особыми областями барического поля. Карта изобар января показывает, что в северном полушарии над Исландией и Алеутскими островами и над материками Евразии и Америки имеем системы замкнутых, несколько вытянутых в западно-восточном направлении, изобар.

Причем в системах изобар над Исландией и Алеутскими островами давление падает от внешних границ к центру, в системах изобар над материками Евразии и Северной Америки давление, наоборот, падает от центра к периферии. Первые барические системы носят название областей низкого давления, или минимумов, а в силу своеобразного распределения вокруг них ветров, направленных в северном полушарии против движения часовой стрелки и внутрь области низкого давления, циклонами.

Барические же системы, в которых давление убывает во всех направлениях от их центра, называются областями высокого давления, барическими максимумами или в силу своеобразного распределения вокруг них ветров, направленных в северном полушарии по часовой стрелке (в южном против) и изнутри области высокого давления, антициклонами.

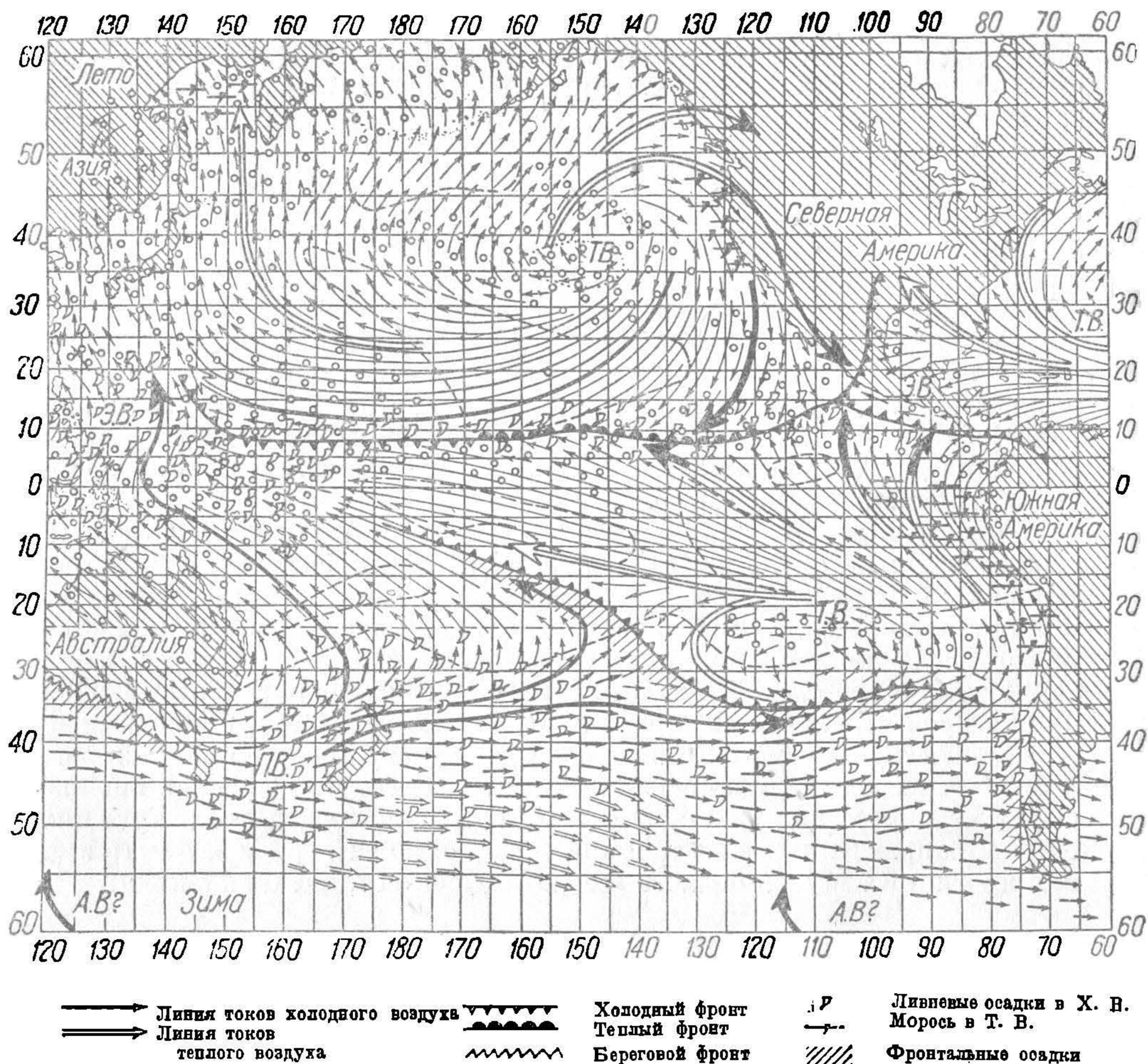
#### 4. Воздушные течения и воздушные массы

Рассмотренное нами выше среднегодовое распределение давления по земной поверхности показывает существование в некоторых определенных районах земли более или менее длительно удерживающихся областей высокого и низкого давлений. Таковы например зоны низкого давления вдоль экватора, Исландский и Алеутский минимумы и Азорский, Тихоокеанский, Сибирский и Полярный максимумы северного полушария.

Их существование обусловлено, как говорилось выше, с одной стороны, термическими и динамическими причинами, с другой стороны, — особенностями структуры земной поверхности (гео- и орографией).

Это более или менее длительно сохраняющееся распределение барических центров со своей стороны определяет известную систему горизонтальных барических градиентов, а следовательно и более или менее длительно удерживающуюся и закономерную систему воздушных течений над северным полушарием земли. Карта воздушных течений зимнего полугодия над северной частью Тихого океана (фиг. 26) показывает нам грандиозную циркуляцию вокруг Тихоокеанского максимума (центр над Гавайскими островами).





Фиг. 26. Карта воздушных течений над Тихим океаном для лета Сев. полушария.

Мы видим между  $35^\circ$  и примерно  $55^\circ$  северной широты однородный южный и юго-западный поток над всей северной частью Тихого океана. Примерно одинаковые термические условия (более или менее одинаковые условия для инсоляции, однородная подстилающая поверхность и т. д.), в которых находятся воздушные массы указанного потока большого масштаба, естественно приводят к достаточной однородности всех метеорологических свойств, характеризующих воздух этого потока.

Если циркуляция, определившая данный поток, удерживается длительно, то это приводит к формированию некоторого типа воздушной массы.

Размер воздушных масс от 500 до 5 000 км по широте и долготе и от 1 км до 10 км по высоте, т. е. до верхней границы тропосферы в наших широтах. Раз сформировавшаяся воздушная масса не остается неизменной.



В период своей жизненной истории, испытывая сильные воздействия со стороны солнца и подстилающей поверхности, она медленно трансформируется: изменяется ее тепловой запас, уменьшается или увеличивается запас влаги в ней, повышается или ослабляется ее запыленность.

## 5. Консервативные свойства воздушных масс

С целью рациональной классификации воздушных масс из их свойств выделяют наиболее стойкие, наименее подверженные воздействию со стороны мирового пространства и подстилающей поверхности. Эти свойства должны изменяться достаточно медленно как в пространстве, так и во времени, т. е. они должны достаточно долго оставаться характерными для данной воздушной массы.

Свойство воздушной массы, интенсивность которого в каждом отдельном элементе массы остается приблизительно постоянным, называется консервативным. Консервативные свойства дают возможность определить прохождение воздушной массы, протекающей над местом наблюдения или над данным районом, позволяют судить о дальнейшем развитии и видоизменении воздушной массы и явлений, которые в ней происходят или будут происходить.

Естественно поэтому, что консервативное свойство должно обладать достаточной термодинамической значимостью.

Свойства воздушных масс мы разбиваем на термические и коллоидальные, зависящие от содержания в воздухе взвешенных газообразных, жидких и твердых частиц. К первым мы относим температуру нижних слоев воздушной массы, температуру ее верхних слоев и наконец вертикальный градиент температуры — величину, дающую представление об изменении с высотой температуры. Ко вторым отнесем удельную влажность и запыленность.

Температура нижних слоев воздуха подвержена сильным воздействиям со стороны подстилающей поверхности.

Протекающая воздушная масса, в зависимости от теплового состояния подстилающей поверхности, либо поглощает от нее тепло, либо отдает ей тепло своих нижних слоев. Поэтому температура нижних слоев ни в какой степени не является свойством консервативным. Она не характеризует теплового состояния воздушной массы в целом, а потому пользоваться ею для суждения о происхождении воздушных масс надо с большой осторожностью.

Большей консервативностью обладает температура более высоких слоев воздушной массы.

Однако происходящие внутри воздушной массы перемещения ее слоев вверх или вниз обуславливают их адиабатическое охлаждение или нагревание, а следовательно будут менять температуру верхних слоев воздушной массы или, как говорят, «в свободной атмосфере». Таким образом температура верхних слоев воздушной массы, мало или почти не завися от влияния подстилающей поверхности, изменяется все же от явлений адиабатических. Температура верхних слоев в гораздо большей степени характерна для данной воздушной массы, чем температура нижних ее слоев, и позволяет составить суждение о «прошлом» воздушной массы и об ее происхождении. Вертикальный градиент температуры —



величина, показывающая падение температуры воздуха с высотой, — выраженный в градусах Цельсия на каждые 100 м подъема, не является консервативным свойством воздушной массы.

В самом деле, допустим, что теплая воздушная масса вынуждена протекать над более холодной подстилающей поверхностью. Ее нижние слои будут отдавать свое тепло этой подстилающей поверхности, а потому охлаждаться. Медленно, но это охлаждение путем динамической турбулентности передается вышележащим слоям. Разница в температурах нижних и более высоких слоев воздушной массы будет ослаблена, т. е. уменьшится вертикальный градиент температуры.

Обратное будем наблюдать при протекании холодной воздушной массы над теплой подстилающей поверхностью. В этом случае нижние ее слои будут поглощать тепло от подстилающей поверхности и повышать свою температуру, следовательно вертикальный градиент температуры будет возрастать.

Эти примеры показывают, что вертикальный градиент температуры не является свойством консервативным, что он подвержен сильным влияниям, главным образом со стороны подстилающей поверхности. Вертикальный градиент температуры не дает основания для суждения о происхождении воздушной массы.

Гораздо более консервативными являются коллоидальные свойства воздушной массы.

Нашу атмосферу мы рассматриваем, как аэрозоль: смесь газов, составляющих атмосферу, является растворителем, ионы же, пыль и гидрометеоры суспензированы, взвешены в нем.

Взвешенными в воздухе частицами являются водяной пар, пыль, а также газообразные и твердые продукты горения.

Водяной пар является обычной примесью воздуха. Количество его подвержено значительным колебаниям и в течение суток и по сезонам года и в зависимости от характера подстилающей поверхности. Содержание влаги в воздухе определяется абсолютной, относительной и удельной влажностью. Удельная влажность есть выраженный в граммах вес паров, содержащихся в 1 кг влажного воздуха. Наиболее консервативной является удельная влажность верхних слоев воздушной массы, но методы определения удельной влажности в верхних слоях трудны и еще недостаточно совершенны. Поэтому использование удельной влажности как свойства, отражающего условия, общие воздушной массе в целом, позволяющего определить воздушную массу и установить ее происхождение, весьма ограничено.

Помимо водяного пара в воздухе всегда взвешено известное количество твердых частиц — продуктов засорения атмосферы пылью: из мирового пространства (космической пылью), вулканической пылью, продуктами выветривания земной коры и, наконец, загрязнениями в результате промышленной и сельскохозяйственной деятельности человека. Космическая пыль распределяется более или менее равномерно во всей атмосфере и следовательно известная доля есть во всех воздушных массах. Загрязнения, вносимые в атмосферу в результате деятельности человека, состоят из достаточно крупных частиц, а потому подвержены быстрому выпадению в силу притяжения земли или вымывания из воздуха выпадающими осадками. Гораздо более важное значение имеет запыление воз-



духа продуктами выветривания — тончайшей пылью безлесных пространств материков и в особенности пустынь. Размеры частиц этой пыли в основном того же порядка, как и длины волн света. Будучи внесены в основном в воздушную массу, они распределяются в ней более или менее равномерно и придают особое свойство воздушной среде, так называемое «опалесцирующее помутнение». Благодаря присутствию этой тончайшей пыли отдельные предметы и горизонт кажутся особо синими, а солнце и луна при закате и восходе приобретают интенсивно желто-красный оттенок. В силу того, что запыление обусловлено тончайшими частицами, оно с течением времени мало или почти не ослабевает при передвижении воздушной массы, так как частицы пыли не выпадают в силу своей легкости и малости, опалесцирующее помутнение полностью переносится воздушной массой и не вымывается осадками, а если и вымывается, то в степени мало его ослабляющей. Это одно из наиболее консервативных свойств воздушной массы, позволяющее почти безошибочно говорить о ее происхождении. Особо характерно оно для воздушных масс, формирующихся под тропиками, загрязненных тончайшей пылью пустынь субтропического пояса земли. Наоборот, воздушные массы, которые сформировались в приполярных районах над безграничными полями льдов, почти свободны от опалесцирующего помутнения.

## 6. Классификация воздушных масс

Классификация воздушных масс, принятая в современной науке о погоде, основывается на анализе жизни воздушной массы. В настоящее время мы используем при классификации воздушных масс:

1) полную историю жизни воздушной массы в течение всего пройденного ею пути от того «источника» — района, где она сформировалась, до того пункта или района, где она нами изучается;

2) ее «новейшую» или «позднейшую» историю; этот последний период жизни воздушной массы сказывается особенно значительно на нижних ее километрах, и им определяется характер ее облачности и осадков.

Классификацию воздушных масс, основанную на учете полной истории их жизни, можно назвать *географической* (абсолютной). В результате анализа свойств, приобретенных воздушной массой за время существования в районе ее формирования, различают: арктический воздух, субполярный или, как его обычно называют, *полярный* воздух, субтропический или тропический воздух и *экваториальный*. В силу того, что свойства воздушной массы, приобретенные в месте ее формирования, при ее перемещениях могут сильно видоизменяться от влияния подстилающей поверхности, особенно в нижних ее слоях, то при географической классификации учитывается и пройденный воздушной массой путь.

*Экваториальный воздух.* Экваториальным воздухом называется воздух пассата или муссона южного полушария, перешедший экватор и движущийся в северное полушарие с юга. Встречаясь с пассатом северного полушария, он поднимается в верхние слои тропосферы и может достигать умеренных широт лишь в этих верхних слоях, обычно над тропическим воздухом.

*Тропический воздух.* Местом его формирования являются субтропиче-



ские пояса высокого давления. В месте своего формирования он достаточно высокой температуры. В силу благоприятных условий инсоляции — высокое стояние солнца над горизонтом в течение всего года — и мощного притока тепла от подстилающей поверхности, тропический воздух относительно теплый до значительной высоты. Вертикальный градиент температуры в тропическом воздухе не велик — в среднем ст 0,5 до 0,6°, т. е. он стратифицирован (напластован) устойчиво.

Тропический воздух, формирующийся в области высокого давления, расположенной над океаном, как например в области Азорского максимума, обладает высокой влажностью и называется **морским тропическим** воздухом. Он является очень часто наблюдающимся воздухом в странах Европы и Африки, расположенных по берегам Средиземного моря, а с южными и юго-западными ветрами достигает Англии, Центральной Европы, юга, юго-запада и изредка центра европейской территории Союза.

Если же тропический воздух формируется над материком, над плоскогорьями Африки, Центральной и Малой Азией, Аравией, Ираном, над Средней Азией и юго-востоком европейской территории Союза, он обладает относительно небольшой влажностью и называется **континентальным тропическим** воздухом. Как морской, так и континентальный тропический воздух отличаются характерным для них опалесцирующим помутнением.

*Полярный воздух* формируется в умеренных широтах, приблизительно между 50 и 75° северной и южной широты.

Если он формировался над северными частями Атлантического или Тихого океанов или проделал над ним длительный путь, его называют морским полярным воздухом, т. е. он обычно богат влагой.

Если же местами это формирования, как это в основном бывает в зимнюю половину года, являются умеренные широты материков Северной Америки и Евразии, то его называют континентальным полярным воздухом. Морской полярный воздух формируется летом над обширными водными пространствами северной части Атлантического и Тихого океанов. Относительно холодная подстилающая поверхность и недостаточный приток солнечного тепла являются причинами того, что температура морского полярного воздуха на всех высотах довольно низка и быстро понижается с высотой. В среднем вертикальный градиент температуры в этой воздушной массе колеблется от 0,7 до 0,9°. В местах своего формирования морской полярный воздух напластован устойчиво, т. е. более плотные слои расположены внизу, над ними лежат менее плотные. Но эта устойчивость очень быстро, при движении морского полярного воздуха к югу или западу над более теплой поверхностью Атлантического океана, нарушается. Нижние слои его быстро нагреваются, и вертикальный градиент температуры в этих слоях делается более 1° на 100 м поднятия, т. е. более адиабатического. Соприкосновение в течение длительного периода с открытой водной поверхностью океана обеспечивает относительно высокую влажность нижних слоев морского полярного воздуха. Морской полярный воздух отличается большой чистотой, следовательно хорошей видимостью. Эта воздушная масса является обычной для наших широт и весьма часто приходит на европейскую и азиатскую территории Союза. Летние и весенние похолодания часто связаны



именно с приходом на нашу территорию морского полярного воздуха. Зимой, наоборот, его приход является причиной потепления, часто до оттепели, и обычно значительных осадков.

Очагами формирования континентального полярного воздуха являются умеренные широты в нашем полушарии — материков Северной Америки и Азии. Наиболее ярко процесс формирования континентального полярного воздуха выражен в зимнюю половину года, когда над этими переохлажденными в силу излучения материками образуются обширные мало подвижные области высокого давления. В них формируются особые воздушные массы, характерные для нашего Союза. Полное затишье или чрезвычайно слабые воздушные течения, наблюдающиеся в центральной зоне Сибирского антициклона, являются благоприятными для длительного однородного воздействия подстилающей поверхности на протекающую над нею воздушную массу.

Зимой в результате длительного воздействия со стороны переохлажденной излучением подстилающей поверхности и вследствие непосредственного излучения в мировое пространство самых воздушных масс полярного воздуха, они приобретают в приземных слоях очень низкую температуру. Летом же в континентальном полярном воздухе в тех же слоях наблюдаются наиболее высокие температуры. Формирование над континентом является причиной относительной сухости континентального полярного воздуха и значительной его загрязненности. Это загрязнение не является опалесцирующим помутнением, хотя в континентальном полярном воздухе оно также имеет место. Континентальный полярный воздух загрязнен пылью более крупной — более крупными продуктами выветривания земной коры, газообразными и твердыми продуктами горения, выбрасываемыми в атмосферу в результате промышленной деятельности человека, пожаров лесов и торфяных болот. Все это ведет к очень плохой видимости в континентальном полярном воздухе.

*Арктический воздух.* Местом его формирования являются околополярные районы, временем формирования — зимнее полугодие от 15 сентября по 1 июля.

Почти полное отсутствие опалесцирующего помутнения сообщает ему исключительную прозрачность, а следовательно исключительную дальность видимости.

Весенние заморозки конца мая и начала июня, а также ранние осенние заморозки связаны со вторжениями арктического воздуха. В летнюю половину года в нашем полушарии в силу особых условий солнечной инсоляции в полярных районах (на границу атмосферы над полюсом поступает в дни летнего солнцестояния больше тепла, чем над экватором) арктический воздух не формируется.

По предложению Бержерона формирующийся в летний период над полюсом воздух принято называть арктическим полярным воздухом.

## **7. Теплая (устойчивая) и холодная (неустойчивая) воздушная масса**

Классификация воздушных масс на основании свойств, приобретенных ими в новейший или, лучше сказать, позднейший период истории их жизни, приводит нас к двум типам воздушных масс — теплой или устойчивой и холодной или неустойчивой воздушным массам.



Теплой воздушной массой называется та, которая движется в сторону более холодной подстилающей поверхности. Тропический воздух, увлекаемый пассатами к экватору, приходит туда, как холодная воздушная масса, так как в экваториальной зоне его температура будет ниже, чем температура подстилающей поверхности. Направляясь с юго-западными или южными ветрами в более высокие широты, он будет приходить всюду с температурой нижних слоев более высокой, чем температура подстилающей поверхности, а следовательно, являясь для окружающей среды **т е п л о й** воздушной массой, будет отдавать тепло ей и подстилающей поверхности.

Помимо направления движения большую роль играет время суток и года. Летом и днем над сушей, зимой и ночью над морем все воздушные массы приобретают характер холодных, а следовательно, как мы увидим несколько позднее, неустойчивых воздушных масс.

Наиболее типичной теплой воздушной массой является морской тропический воздух азорского происхождения. Он до значительной высоты прогрет и влажен и в нижних слоях близок к устойчивому напластованию. Если он движется осенью или зимой к северу, он всюду приходит теплее подстилающей поверхности. Его нижние слои постепенно охлаждаются вследствие отдачи тепла более холодной подстилающей поверхности. Охлаждение нижних слоев ведет к уменьшению вертикального градиента температуры, а следовательно к ослаблению и постепенному прекращению конвективной деятельности. Теплая воздушная масса приобретает напластование, обеспечивающее устойчивое равновесие ее слоев: более холодные и плотные слои внизу, теплые и менее плотные наверху. Эта устойчивая стратификация <sup>1</sup> является наиболее характерным свойством теплой воздушной массы, почему ее часто называют устойчивой воздушной массой.

Почти полное понижение температуры нижних слоев или полное погашение конвективной деятельности, а следовательно затрудненность переноса влаги в вышележащие слои приводит к быстрому насыщению влагой приземных слоев. Большое же количество взвешенных в воздухе пылинок, в виде опалесцирующего помутнения, благоприятствует ускорению процесса конденсации. Последняя, начинаясь в нижних слоях в виде слабого тумана, постепенно, по мере движения теплой воздушной массы к северу, благодаря никогда не затухающей динамической турбулентности <sup>2</sup> распространяется на значительную ее толщину и приводит к образованию занимающих обширные площади и высоко развитых в к высоту туманов или мощных слоистых облаков — Stratus (кратко—st). При дальнейшем движении к северу охлаждение может привести к осадкам. Осадки теплой воздушной массы крайне типичны: это мелкокапельные осадки, так называемая морось (размеры капель около 0,05 мм) — в летнюю половину года и снег в виде мелких звездочек и очень мелкой крупы с диаметром менее 1 мм — в зимнюю.

Облачный покров обычно имеет характер или сплошной равномерно-серой однообразной и низкой пелены или мощных волн (слоистые, слоисто-кучевые и высококучевые).

<sup>1</sup> Стратификация — напластование, наслоение.

<sup>2</sup> Насыщенности воздушного потока малыми вихрями, вызванными в основном трением о поверхность земли и внутренним трением воздушных слоев.



Холодной воздушной массой называют независимо от географического происхождения ту воздушную массу, которая движется в сторону более теплой подстилающей поверхности. Арктический воздух при его движении в сторону экватора или морской полярный воздух, движущийся зимой с материка Северной Америки к востоку над теплым Атлантическим океаном, поток тропического воздуха, направляющийся с пассатами к экватору, — являются холодными воздушными массами, так как движутся в сторону более теплой подстилающей поверхности. Так как при своем движении холодная воздушная масса всюду приходит с температурой более низкой, чем температура подстилающей поверхности, то ее нижние слои начинают поглощать тепло, их температура быстро возрастает, а вместе с этим начинает быстро возрастать и вертикальный температурный градиент.

Приток тепла в нижние слои от подстилающей поверхности приводит к тому, что вертикальный градиент температуры становится больше адиабатического. При градиенте, несколько большем адиабатического, слабые уже внешние воздействия<sup>1</sup> нарушают равновесие слоев воздушной массы и начинается «опрокидывание» верхних холодных слоев вниз и замена их нижними теплыми, начинается усиленная термическая турбулентность — конвекция.

Холодная воздушная масса в силу особенностей распределения в ней температуры с высотой является массой неустойчивой. Поэтому вместо названия «холодная» воздушная масса часто употребляют «неустойчивая». В силу различия характера поверхности почвы, ее цветности, ее покрова в зависимости от распределения воды и суши — будет различна и степень нагревания нижних слоев воздушной массы. Поэтому не во всех точках напряженность восходящих токов воздуха будет одинаковой. В местах наибольшего напряжения конвективных токов воздушные слои быстро достигнут уровня конденсации и здесь образуются кучевые облака (Cumulus — куча, кратко Cu).

## 8. Фронтобразование

Барическое поле тропосферы в некоторых районах обоих полушарий, в силу благоприятных термических, динамических и географических причин, приобретает в некоторые сезоны особо длительно устойчивый характер. В качестве примера можно привести распределение барических центров над севером Атлантики в зимнюю половину года. Над материком Северной Америки имеется обширный термически обусловленный максимум. Над Исландией и Норвежским морем примерно в тех же широтах располагается обширный Исландский минимум. Наконец, на юге имеется динамически обусловленный азорский максимум. Так как указанные барические образования часто сохраняются в течение значительного промежутка времени (5—7 дней и более) без существенных изменений их интенсивности и положения, то в связанные с ними циркуляции втягиваются все большие и большие толщи различных по своему происхождению воздушных масс. По западной периферии Исландского минимума

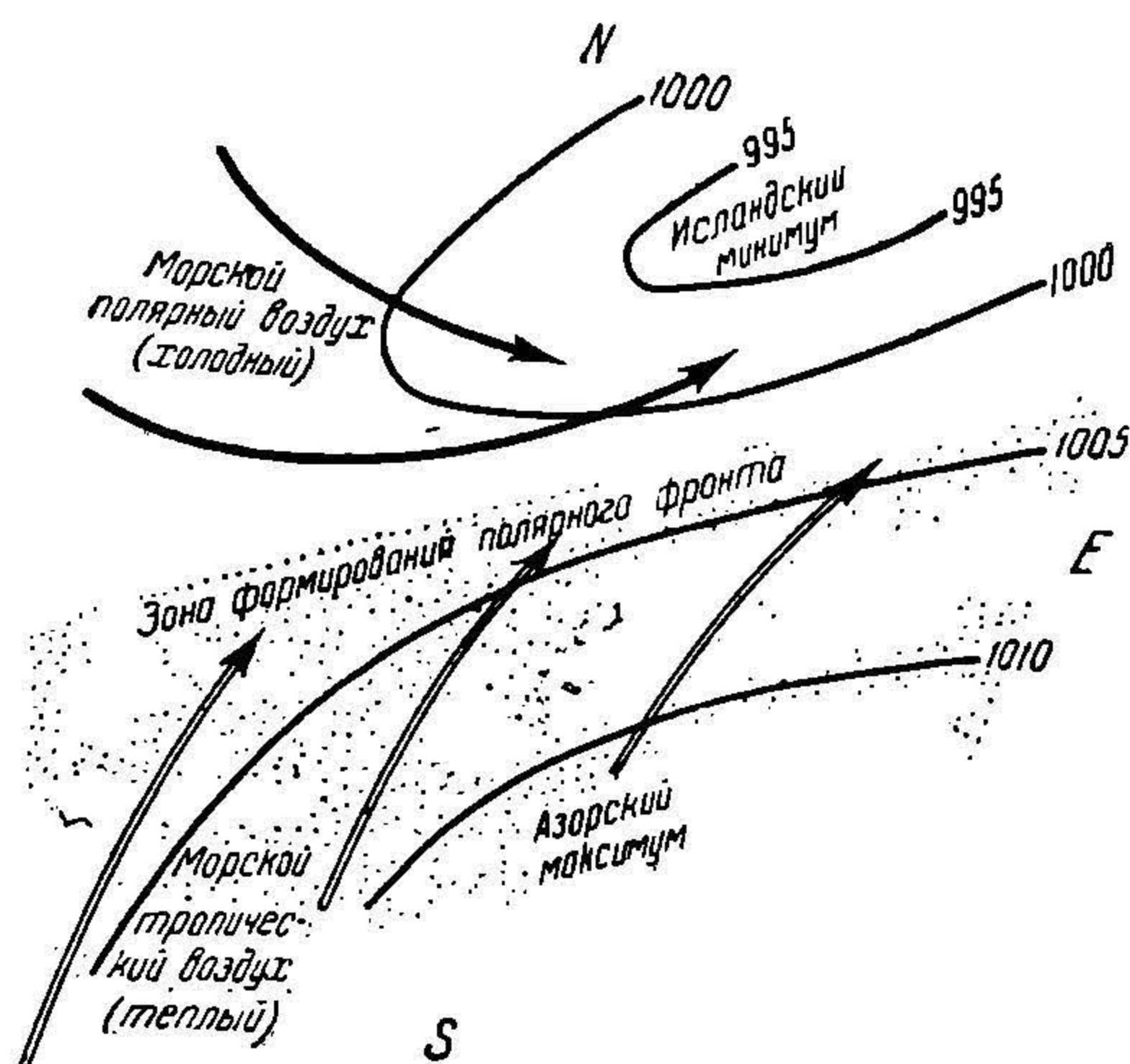
<sup>1</sup> Эти необходимые внешние воздействия всегда имеются в нижних слоях воздуха в виде никогда не затухающей вихревой деятельности, вызванной неровностями земли и трением движущейся воздушной массы о подстилающую поверхность.



к 40—50° северной широты опускается мощный поток холодного морского полярного воздуха. Одновременно по западной же и северо-западной периферии Азорского максимума к тем же широтам притекает столь же мощный по высоте и обширный поток теплого морского тропического воздуха. Примерно по линии Флорида—Ламанш происходит встреча двух различного происхождения и различных свойств воздушных масс (фиг. 27).

Различный тепловой запас и различная термическая структура этих воздушных масс, следовательно различия плотности и других физических свойств, приводит к возникновению между ними, как и между жидкостями различной плотности, поверхности раздела.

Вначале это широкая переходная зона, т. е. переход от значений метеорологических элементов, характерных для одной из воздушных



Фиг. 27. Схема формирования главного полярного фронта над Атлантикой.

масс, к значениям тех же элементов в другой воздушной массе происходит достаточно плавно. Если же определившие возникновение переходной зоны циркуляции удерживаются длительно, то переходная зона сужается, обостряется, одновременно хорошо развиваясь до большой высоты. Формируется так называемый фронт. Переход от значений какого-либо консервативного свойства одной из воздушных масс к значениям того же свойства другой воздушной массы приобретает характер скачка — температура при переходе через фронт из полярного воздуха в тропический резко повышается, повышается относительная влажность, резко

ухудшается видимость, ветер резко меняет свою структуру, направление и обычно силу.

Мы называем фронтом узкую наклонную переходную зону между двумя воздушными массами, при переходе через которую большинство метеорологических элементов испытывает скачкообразное изменение.

Угол наклона фронта очень мал и измеряется несколькими минутами. Тангенс угла наклона равен примерно  $1/100$ , т. е. при удалении от фронта в сторону холодной воздушной массы на 100 км поверхность фронта поднимается над горизонтом на 1 км.

В том случае, если фронт возник между арктическим воздухом и полярным, он называется — арктическим фронтом, если между полярным и тропическим — полярным фронтом и наконец между тропическим и экваториальным — тропическим фронтом.

Фронт, как поверхность раздела между двумя различной плотности и в общем случае с различными скоростями движущимися воздушными



массами, может находиться в состоянии покоя (недеформированным) лишь при исключительных условиях, мало вероятных в действительных условиях в атмосфере. В подавляющем числе случаев на фронте, как на поверхности раздела между двумя средами различной плотности и различной скорости движения, возникают волны, называемые гравитационными (фиг. 28).

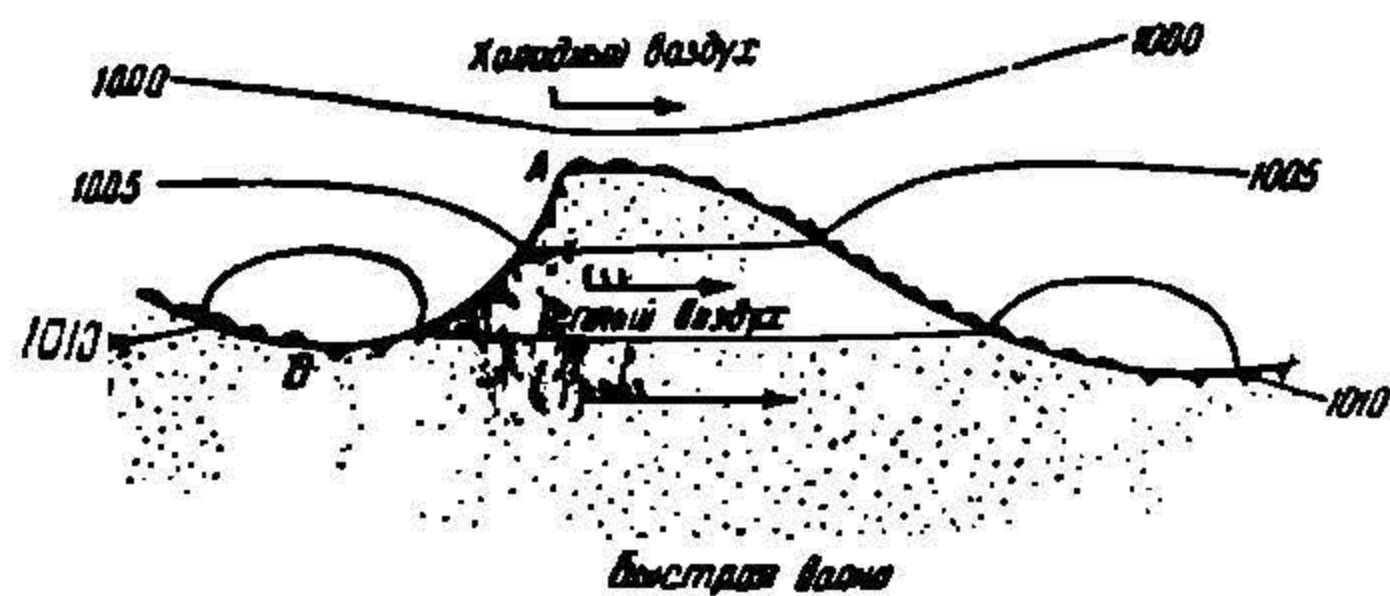
Эти волны имеют различную длину. Теория и эмпирические исследования на синоптических картах (картах погоды) показали, что термодинамическую значимость в процессах погоды имеют лишь волны, длины которых порядка сотен километров.

При этом волны, длины которых меньше примерно 1 000 км, перемещаются по фронту со все уменьшающейся амплитудой и наконец полностью затухают.

Волны же, длины которых больше 1 000 км, перемещаются вдоль фронта с амплитудой, которая все возрастает, и из них лишь развиваются циклоны.

Фиг. 28 дает стадию так называемой волны.

Долину волны заполняет холодный морской полярный воздух, медленно опускающийся и растекающийся у поверхности земли, гребень же волны занят потоком свежего морского тропического воздуха. В стадии волны различные участки фронта имеют различно направленное поступательное движение. Участок фронта *АС*, перемещающийся от теплого воздуха в сторону холодного, называется **теплым фронтом**. На этом участке теплый морской тропический воздух активно восходит скольльзящим движением по клину отступающего перед ним холодного полярного воздуха.



Фиг. 28. Гравитационная волна.

Участок же *АВ*, движущийся от холодного воздуха в сторону теплого, называется **холодным фронтом**.

За ним **активный** свежий морской полярный воздух вторгается в область, занятую морским тропическим воздухом, вынужденным отступать перед морским полярным воздухом и при этом круто восходить (**пассивное восходящее скольжение**).

В процессе завихривания стадия волны быстро превращается в так называемый «идеальный» циклон Я. Бьеркнеса. В этой самой энергичной стадии развития, длящейся несколько более 6 часов, циклон редко удается констатировать на синоптической карте.

В научной и учебной литературе теплым фронтом называют и самую поверхность активного восходящего скольжения и линию ее пересечения с поверхностью земли. Теплый фронт есть наклонная поверхность раздела, разграничивающая две воздушных массы со значительной разницей температур; вдоль этой поверхности более теплая воздушная масса замещает более холодную.

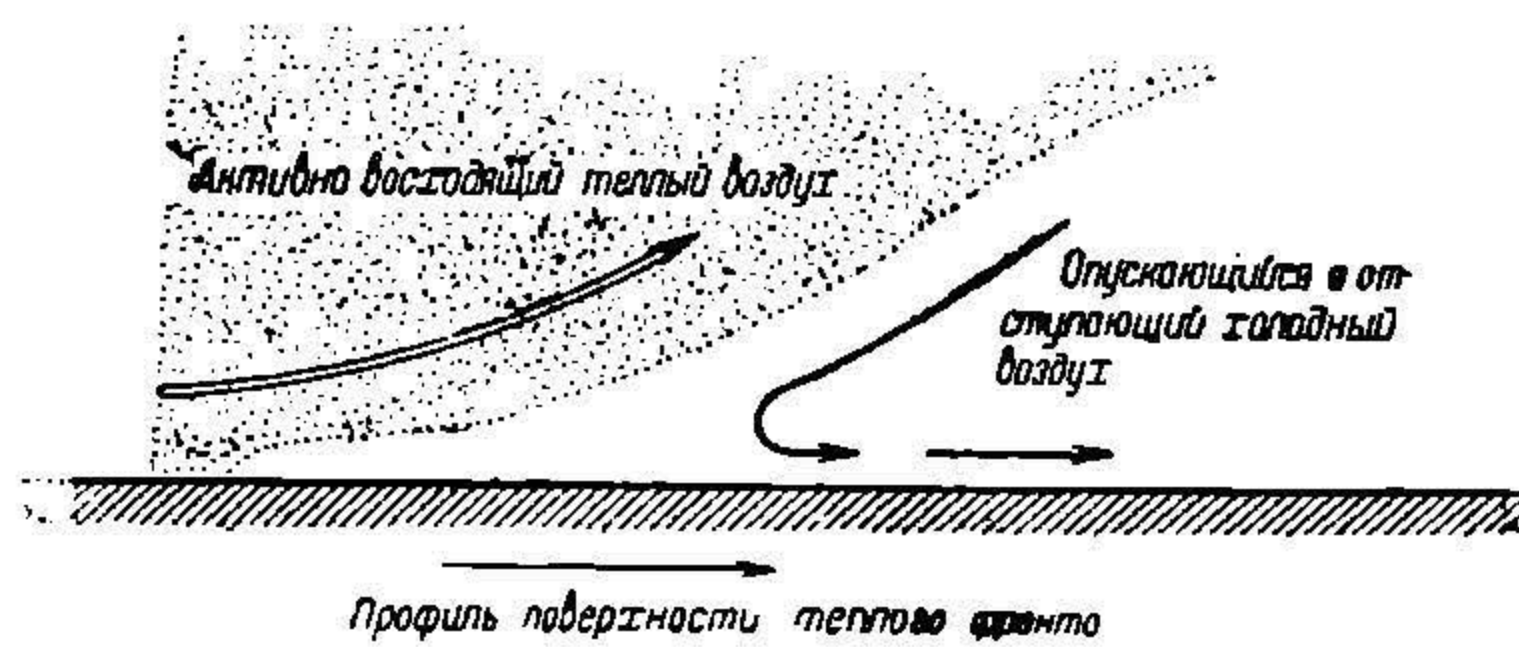
Эта поверхность раздела имеет наклон к горизонту, в среднем близкий к  $1/100$ , т. е. при удалении от теплого фронта внутрь клина отступаю-



щего холодного воздуха на 100 км поверхность теплого фронта поднимается на 1 км (со стороны отступающего холодного воздуха). Трение о земную поверхность отступающего перед теплым фронтом холодного воздуха придает профилю поверхности теплого фронта несколько вогнутую форму, как это грубо схематично дано на фиг. 29.

Указанная выше особенность профиля поверхности восходящего скольжения имеет существенное значение в образовании облачности в восходящем теплом потоке. Подымающийся поток теплого воздуха адиабатически охлаждается одновременно в большой массе, что приводит к образованию очень мощно развитой и по высоте, и по занимаемой ею площади облачной системы. Ее верхняя граница лежит значительно выше так называемого уровня ледяных ядер, нижняя же всего лишь на несколько сотен метров от поверхности земли. Эта система облаков, возникающая на поверхности активного восходящего скольжения, называется системой облаков теплого фронта, системой слоистых дождевых облаков (*Altostratus — Nimbostratus* или *Ast — Nbst*).

Остановимся на ней несколько подробнее. Верхняя часть этой системы, лежащая выше 6 000 м, является перисто-слоистыми (*Cirrostratus, Cist*)—ледяными облаками, состоящими из так называемых полных кристалло-ледяных шестигранных призмочек — игл, медленно образующихся при температуре, примерно на 20° ниже нуля, путем сублимации водяного пара. При этом воздух насыщен или слегка пересыщен водяными парами по отношению ко льду.



Фиг. 29. Профиль поверхности теплого фронта.

Наконец перисто-слоистые облака все более и более уплотняются, переходя незаметно в тонкую высокослоистую, однообразно-серую тонкую волокнистой структуры облачную пелену (*Altostratus — Ast*), через которую диски солнца или луны просвечивают, как через матовое стекло.

Высокослоистые облака по мере продвижения теплого фронта уплотняются и понижаются. Солнце или луна скрываются. Одновременно поверхность облаков, видимая с земли, приобретает волокнистое строение от начинающих выпадать из них осадков снега. В это время высота поверхности теплого фронта над уровнем земли около 4 км.

Наконец покров высоко слоистых облаков, непрерывно понижаясь, переходит в слоисто-дождевое облако *Nimbostratus, Nbst*, верхняя граница которого лежит примерно на высоте 2 км. Основание же в зависимости от времени года и в зависимости от орографии места может опускаться очень низко — до высоты одной или двух сотен метров над поверхностью земли. Система облаков теплого фронта *Ast — Nbst* есть единая система, отдельные ее части не разделены промежуточными слоями. Деление ее на части проведено условно по признаку высоты и по внутренней коллоидальной структуре. *Nbst* равномерный, серебристый низкий облачный покров. В зависимости от времени года он состоит либо только из капелек воды различного диаметра и пронизывающих его скелетов, выпадающих из выше расположенного *Ast*, либо из капелек переохлажденной воды и скелетов.



Система облаков теплого фронта дает обложные, длительные, равномерные осадки, либо обложные дожди, либо обложной снег.

Осадки теплого фронта, начинаясь примерно за 300 км в летнюю половину года и за 400 км зимою, равномерны, длительны, охватывают одновременно большие районы.

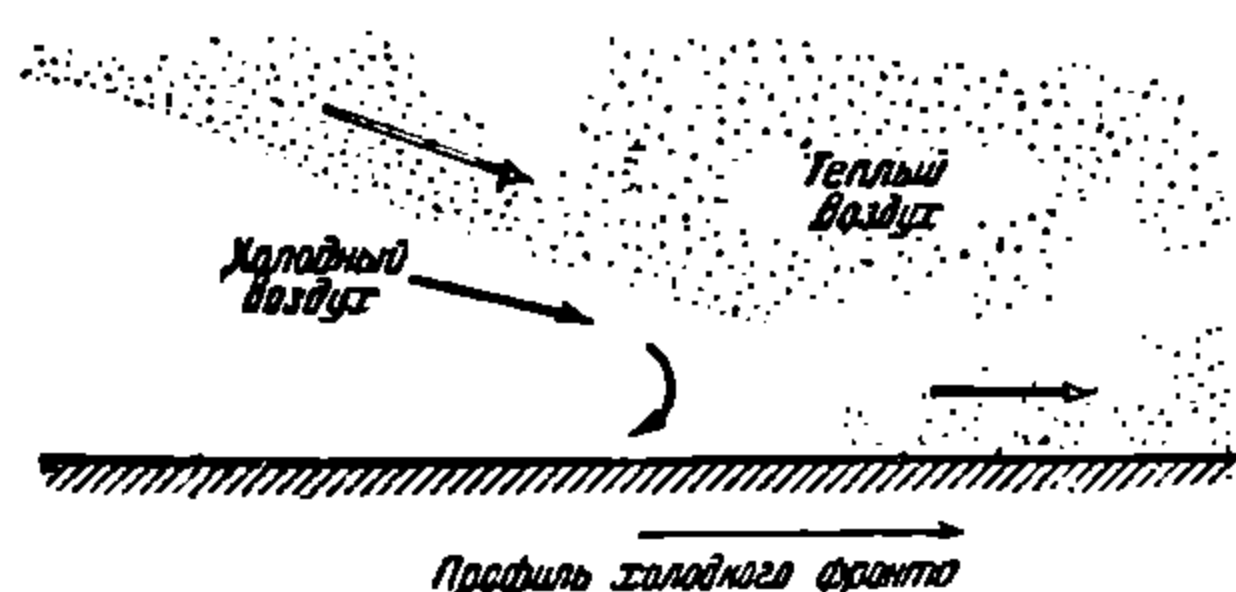
## 9. Холодный фронт — ХФ

Если поверхность раздела между двумя воздушными массами является поверхностью пассивного восходящего скольжения для более теплой из воздушных масс, то ее называют поверхностью холодного фронта. Вдоль нее относительно более холодная масса замещает более теплую. Линия пересечения поверхности холодного фронта с поверхностью земли называется линией холодного фронта. Холодный фронт — ХФ на синоптической карте изображается зубчатой линией. Направление острых зубьев показывает направление фронта (фиг. 30).



Фиг. 30. Изображение ХФ на синоптических картах.

Трение плотных нижних слоев вторгающейся холодной воздушной массы о земную поверхность приводит к некоторому отставанию этих слоев от более быстро движущихся верхних. Фронт в нижней части принимает характерный профиль (фиг. 31). Профиль поверхности холодного фронта является причиной того, что теплая воздушная масса, идущая впереди холодного фронта, вынуждена восходить вверх очень круто. Этот крутой подъем теплой воздушной массы определяет собой как облачную систему фронта, так и форму и характер осадков. Это в основном облака вертикального развития, проходящие через несколько слоев, т. е. ливневые облака — *Cumulonimbus*, *Cumbr*. Восходящий круто вверх поток теплого и влажного воздуха быстро поднимается, одновременно адиабатически охлаждаясь до уровня конденсации, т. е. уровня, где он достигает точки росы, и дает типичный вал ливневых облаков — *Cumbr*.



Фиг. 31. Профиль холодного фронта.

Если подъем теплого потока перед головой клина холодного воздуха достаточно энергичен, то кучевое облако, быстро нарастая в высоту, достигает уровня ледяных ядер, т. е. высоты 3—4 км.

Кучевые облака состоят из мельчайших капелек, это «туманное» облако. Соприкосновение же переохлажденных элементов конденсации верхней части *Cu* с ледяными ядрами

приводит к энергичной сублимации водяного пара и к образованию ледяной части *Cumbr*, так называемого амброса или наковальни.

По внутренней структуре ливневое облако ничем не отличается от уже знакомой нам системы облаков теплого фронта.

Передняя часть облачной системы холодного фронта обычно оказывается сильно размытой теплым, адиабатически прогретым опускающимся потоком верхних слоев теплой воздушной массы. Поэтому продвижение облачной системы холодного фронта, особенно быстрого движущегося



холодного фронта, предваряется как правило параллельными поверхностями фронта грядami перисто-кучевых и высококучевых облаков, имеющих типичную форму сигарообразных полос, как бы оплавленных по краям, так называемых высококучевых линзообразных — *Alto cumulus lenticularis*.

Высококучевые облака состоят из капелек переохлажденной воды, отличаются однородностью внутренней структуры, а следовательно осадков не дают.

Перед ливневым дождем из вала ливневых облаков холодного фронта наблюдается прохождение нижней части облачной системы — шквалового воротника — вала низких, однообразно темносерых, изорванных в их нижней передней части облаков — разорвано-кучевых и разорвано-слоистых.

Первые крупные капли ливня холодного фронта связаны обычно с резким порывом ветра в теплом воздухе.

Осадки перед быстро движущимся холодным фронтом начинаются на различных расстояниях перед фронтом, но всегда меньших, чем перед теплым фронтом циклона.

Вслед за прохождением основного ядра облачной системы холодного фронта — вала ливневых облаков — быстро проносятся через место наблюдения ее тыловые части, состоящие обычно из плотных высококучевых и слоисто-кучевых облаков, наконец обрывающихся резкой границей яркого голубого неба.

Прохождение через место наблюдения линии холодного фронта сопровождается резким изменением состояния всех метеорологических элементов, так как место наблюдения занимает теперь новая воздушная масса — холодная.

Температура резко понижается, относительная влажность, особенно в летнюю половину года, повышается, ветер резко вращает вправо и приобретает ярко выраженный шквалистый характер, т. е. быстро и резко меняет и свое направление (правда, в узких пределах), и свою скорость. Обычно само прохождение фронта сопровождается резким шквалом, объясняющимся тем, что на обычный сильный поток опускающегося холодного воздуха налагается еще дополнительный порыв увлекаемого ливневым дождем воздуха верхних слоев. Это так называемый ливневой падающий ветер.

Давление, слабо падавшее перед холодным фронтом, в силу местного динамического эффекта, связанного с резким вертикальным оттоком теплого воздуха из нижнего слоя вверх, по прохождении фронта начинает быстро расти.

Обычно повышение давления за холодным фронтом протекает довольно резко.

Приход холодной воздушной массы сопровождается резким повышением прозрачности воздуха, следовательно хорошей горизонтальной видимостью.

## 10. Перемещение фронтов

Холодные фронты, как и фронты окклюзий характера холодного фронта, движутся почти со скоростью градиентного ветра. Поэтому, опре-



делив по градиентам у фронта градиентный ветер, можно вычислить будущее положение любого участка интересующего нас фронта через определенный промежуток времени.

Теплые фронты, как и окклюзии характера теплого фронта, перемещаются медленнее, чем это требует градиентный ветер.

Но и для фронтов указанного типа путем достаточно элементарных вычислений по скорости холодного потока перед фронтом можно определить составляющую движения, перпендикулярную к любому элементу фронта, а следовательно найти будущее положение фронта в целом.

В последнее время широко применяются так называемые градиентные линейки, позволяющие путем наложения их на карту по расстоянию между точками пересечения изобар и фронта определить перемещение (в масштабе карты) этого элемента фронта.

## II. Перемещение циклонов и антициклонов

Вопрос о направлении и скорости поступательного движения циклонов подвергался тщательному изучению ряда исследователей, но чисто статистическим методом.

Приводим таблицу (из работы Мейнардуса, 1929 г.) средних скоростей движения циклонов в км/час.

| Сезон | Северная Атлантика | Западная Европа | Восточная Европа |
|-------|--------------------|-----------------|------------------|
| Весна | 30                 | 26              | 33               |
| Лето  | 27                 | 24              | 29               |
| Осень | 30                 | 30              | 35               |
| Зима  | 29                 | 29              | 39               |
| Год   | 29                 | 27              | 34               |

Средняя скорость поступательного движения европейских антициклонов 26 км/час.

Скорость движения тем больше, чем больше скорость теплого потока циклона в свободной атмосфере и чем резче выражена его термическая асимметрия.

Э. Пальмен наконец эмпирически на основе обширного материала обосновал положение, данное в 1922 г. Я. Бьеркнесом и Х. Сольбергом о направлении движения циклона.

Это правило таково: движение циклона совпадает с направлением движения в свободной атмосфере его теплого потока, иначе циклон движется в направлении изобар теплого сектора.

Указанное правило, носящее название правила Пальмена, оправдывается при всех возможных направлениях движения циклонов и для всех стадий их развития, а потому широко применяется в практике прогноза.



Карта за 7 час. утра 19 августа 1934 г. (приложение I, в конце книги) показывает, что над центральными районами европейской территории Союза располагается глубокий циклон. Его центр примерно у г. Курска. Теплый сектор циклона образован юго-восточным (в основном) потоком континентального тропического воздуха с температурами от 20 до 24° и относительной влажности от 30 до 50%.

На высоте континентальный тропический воздух имеет почти южное направление (изобары теплого сектора ориентированы от SSE к NNW).

Это направление теплого потока и определило движение циклона в ближайшие часы.

В 19 час. вечера того же 19 августа (приложение II, в конце книги) центр циклона находился примерно у г. Иваново, т. е. сместился в направлении к NNW

## 12. Антициклоны и погода в них

Различают антициклоны динамического (Тихоокеанский и Азорский максимумы северного полушария), термического происхождения (Канадский и Сибирский зимние максимумы северного полушария) и кроме того подвижные антициклоны внетропических широт, происхождение которых неразрывно связано с разворачиванием фронтальной и циклонообразующей деятельности нижних слоев тропосферы. В образовании этих подвижных антициклонов, развивающихся в тылу последнего, замыкающего серию циклонов члена, повидимому в одинаковой степени участвуют и термические и динамические причины.

Ветер согласно закона Бюйс-Балло дует из области высокого давления, отклоняясь в северном полушарии вправо под соответствующим углом к направлению градиента. В северном полушарии таким образом создается вокруг центра антициклона циркуляция воздуха по часовой стрелке. При нормальном, в основном западно-восточном, перемещении антициклонов наибольшей силой и наименьшим углом отклонения от направления градиента обладают ветры на его задней (западной) стороне, соответственно более слабыми и с большим углом отклонения от направления градиента являются ветры передней стороны антициклона.

Распределение воздушных течений в области антициклона отличается очень существенной особенностью — они (в меньшем числе случаев) расходятся от некоторой точки, обычно совпадающей с центром антициклона, так называемой точки дивергенции (расхождения); в большинстве же случаев воздушные течения имеют расхождение по некоторой линии, ориентированной в направлении движения антициклона, так называемой линии дивергенции. Как линия, так и точка дивергенции связаны с нисходящим движением воздуха в области антициклона.

Медленное оседание воздушных слоев ведет к их адиабатическому прогреванию и удалению от состояния насыщения водяным паром. Области, где наблюдается дивергенция воздушных течений, таким образом являются областями, где уже имеющиеся облака подвергаются размыванию или где облакообразование крайне затруднено, а иногда вовсе не может иметь места.

Антициклоны поэтому обычно характеризуются ясной сухой погодой. Летом — это ясная теплая или жаркая, с ярко выраженным суточным хо-



дом большинства метеорологических элементов, сухая погода. Ночи безоблачны, относительно холодны, с обильной росой и туманами над низкими местами (болотами, долинами рек и т. д.), рассеивающимися вскоре после восхода солнца.

Зимой в антициклонах над континентом наоборот господствуют очень низкие температуры в силу выхолаживания нижних слоев воздуха как путем непосредственного излучения в мировое пространство, так и в силу соприкосновения с переохлажденной излучением же подстилающей поверхностью.

Это охлаждение путем лучеиспускания является причиной обширных; часто достаточно мощно развитых по высоте «радиационных» туманов (туманов излучения), наблюдающихся в континентальных антициклонах зимой.

Характерное для антициклонов оседание, а следовательно динамическое прогревание составляющих их воздушных масс ведет к образованию обширных и часто значительных по вертикальному протяжению слоев инверсий, слоев, где температура с высотой не падает, как это нормально наблюдается в атмосфере, а растет. Эти инверсии оседания представляют таким образом очень слабо наклоненные (от  $1/250$  до  $1/1000$ ) почти горизонтальные поверхности раздела, вдоль которых наблюдается нисходящее скольжение вышележащих слоев антициклонов, иногда приводящее к явлению свободного фёна, т. е. ветра сухого и теплого (в результате адиабатического прогревания).

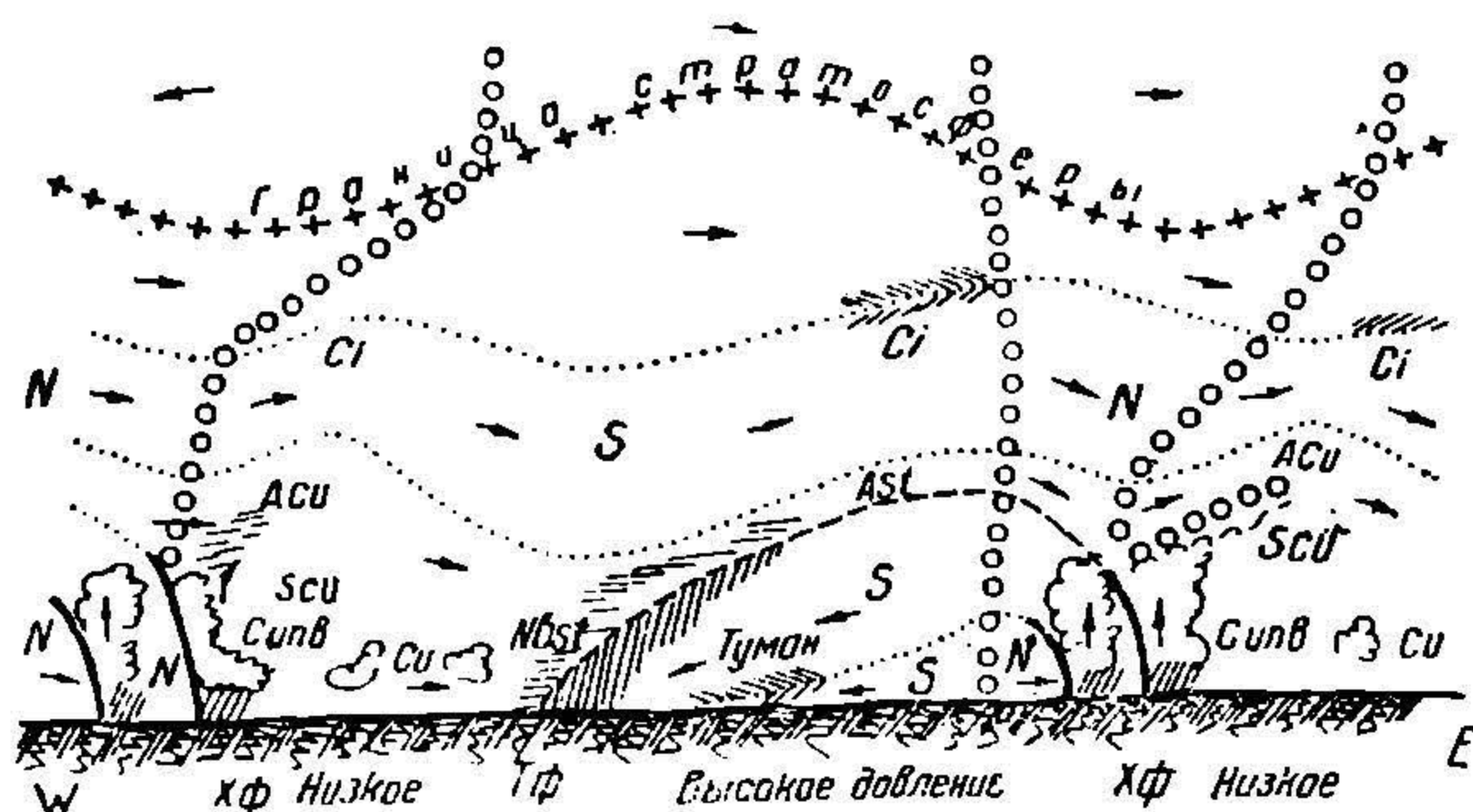
Под слоями инверсий, особенно в осенне-зимнюю половину года, в антициклонах наблюдаются часто волнистые облака — слоисто-кучевые и высококучевые, редко слоистые. Слоисто-кучевые и слоистые дают весьма слабые осадки.

Поверхность нисходящего скольжения ограничивает в верхних слоях таким образом заднюю, западную при нормальном западно-восточном движении, сторону антициклона. Передняя — восточная его периферия у поверхности земли обычно служит поверхностью холодного фронта со всеми соответствующими этой поверхности явлениями — облачной системой и осадками (фиг. 32).

Статистически найдено, что тело антициклона до больших высот относительно теплее тела циклона, что объясняется указанным выше процессом оседания составляющей антициклон воздушной массы.

### 13. Организация службы погоды в СССР

Синоптическая сеть Союза состоит из 526 станций, имеющих международное значение, и 686 станций местного союзного значения. Это недо-



Фиг. 32. Схема структуры области высокого и низкого давления по Штюве.



статочно для обширной территории Советского союза. Особенно мало синоптических станций в азиатской части СССР, что ставит в тяжелые условия работу имеющихся там бюро погоды<sup>1</sup>. К каждому республиканскому, краевому или областному бюро погоды прикреплено определенное число синоптических станций международного и союзного значения, расположенных на территории данной республики, края или области.

Все синоптические станции Союза производят 4 раза в сутки — в 1, 7, 13 и 19 часов местного среднего солнечного времени — наблюдения по определенной программе и в зашифрованном виде направляют их результаты по телеграфу и телефону в бюро погоды, к которому они прикреплены. Бюро погоды, получив сведения от своей сети, не позднее установленного срока направляют результаты наблюдений международных станций своей сети в виде сводки в Центральное бюро погоды Союза. Сводки наблюдений сети синоптических станций иностранных служб погоды принимаются в центральном бюро погоды СССР по радио. Согласно принятым рядом международных конференций соглашениям, для каждой страны выделены строго определенные сроки для радиотелеграфных передач сводок наблюдений их синоптических станций. Всего по радиотелеграфу принимаются около 450 станций иностранной синоптической сети северного полушария. Одновременно с иностранными радиотелеграфными сводками и сводками союзных бюро погоды в ЦБП поступают по проволочному телеграфу сведения от прикрепленных к нему всех синоптических станций Московской и Иваново-Промышленной областей и Горьковского края. Все полученные сведения тотчас же поступают к определенному сотруднику, который, подвергнув их предварительному контролю, составляет общую сводку наблюдений международных станций синоптической сети Союза. Эта сводка в строго установленный срок передается по радио для сведения всех бюро погоды Союза и Европы. На основании полученных сведений составляют следующие синоптические карты: 1) карта, охватывающая Западную Европу, европейскую часть Союза и Западную Сибирь, 2) карта северного полушария. Карты в этот же день издаются и рассылаются заинтересованным учреждениям. Кроме того составляются ряд специальных карт, используемых специалистами для прогноза на ближайшие сутки, а также необходимых отдельным секторам ЦБП для их оперативных и научно-исследовательских работ.

Приблизительно к 12 часам большинство телеграфных сообщений о погоде на станциях области, а также данных из сводок провинциальных бюро погоды и иностранных радиосводок уже нанесены на рабочие карты. Карты передаются специалистам-синоптикам. Последние, подвергнув карты соответствующей графической обработке, производят тщательный анализ отображенного на них состояния погоды, наблюдавшегося в 7 час. утра текущего дня над северным полушарием, а также более детально над Европой и СССР.

Погода определяется воздушной массой, которая занимает интересующий нас район или протекает над ним и теми фронтами, которые проходят или пройдут через тот же район. Поэтому путем тщательного

<sup>1</sup> В данное время название «Бюро погоды» крайне неудачно заменено другим — «Отдел прогнозов и информации» соответствующего управления Единой гидрометслужбы.



прослеживания от карты к карте путей, по которым перемещались воздушные массы, можно установить источники, из которых они произошли, и те воздействия со стороны подстилающей поверхности, которым они подверглись на путях своих перемещений, т. е. установить, к каким географическим и термодинамическим типам принадлежат исследуемые нами воздушные массы. Устанавливают, в какой стадии видоизменения находятся приобретенные в источнике формирования воздушных масс их свойства. Наконец, пользуясь определенными характерными признаками, свойственными фронтам, находят положения, направления и скорость движения за истекший период времени как фронтов, так и связанных с ними возмущений.

Тщательный анализ поля движения воздушных масс дает основание к суждению о том, какова будет эволюция и воздушных масс и фронтов в течение ближайшего периода, т. е. будут ли интересующие нас воздушные массы становиться более или менее устойчивыми или неустойчивыми, будут ли обостряться или размываться имеющиеся на анализируемой карте фронты и т. д. Установив направление и скорость движения фронтов и связанных с ними возмущений, а также связанных с этими фронтами зон облаков и осадков, установив типы воздушных масс и направление эволюции их в ближайший период, можно считать задачу прогноза погоды для интересующего нас пункта или района решенной. Погода пункта или района определяется типом воздушной массы и фронта, которые будут занимать его в период времени, на который дается прогноз, или в этот же период пройдут через него. Уже в 12 час. дня ЦБП СССР выпускает экстренную карту погоды и метеорологический бюллетень. По завершении анализа рабочей карты и составлении прогноза на ближайшие сутки дежурный синоптик сообщает их в 14 час. 40 мин. московского времени по радиотелефону для сведения всех областных бюро погоды, заинтересованных учреждений и всего населения Союза.

В прогнозе даются сведения об ожидаемой на следующие сутки температуре воздуха, облачности, гидрометеорах, силе и направлении ветра, предупреждение о всех особо важных явлениях погоды, которые могут вызвать вредные последствия в сельском хозяйстве, промышленности, транспорте или строительстве нашего Союза. Об особо грозных явлениях помимо предупреждения по радиотелефону даются телеграфные и радиотелеграфные предупреждения заинтересованным учреждениям и организациям (о штормах в порты и на аэродромы, о заморозках — в угрожаемые районы и т. д.). Кроме радиотелефонной передачи в 14 и 15 час. дня имеется еще передача в 0 час. 45 мин. специально для обсуждения воздушного транспорта. Организация работы республиканских, краевых и областных бюро погоды та же, что и ЦБП СССР. Их задача, пользуясь полученными по радио сводками ЦБП СССР и иностранных служб погоды, а также и более полным местным материалом, удовлетворить прогнозом и всеми видами информации население и учреждения своей республики, края или области. Большинство из них имеют свои длинно- или коротковолновые приемники и передатчики или же используют с целью связи и радиотелеграфных передач местные ширококвотельные радиостанции. Естественно, каждое из них имеет строго определенные сроки в течение суток для передачи своих сведений по радио.

Роль службы погоды в социалистическом строительстве нашего Сою-



за чрезвычайно ответственна и велика. Грандиозные масштабы наших посевных, хлебоуборочных и хлебозаготовительных кампаний, снегоборьба на транспорте, снегозадержание в засушливых районах, наши исключительные по масштабу лесозаготовительные и лесосплавные кампании, путины, переброски скоропортящихся грузов, транспорт всех видов и т. д., успех протекания или работы которых зависят в той или иной степени от метеорологических условий, нуждаются в наиболее полной и своевременной информации и в прогнозах, даваемых службой погоды.

Наши арктические экспедиции, перелеты, подобные перелету «Страны советов», наши автопробеги (например Каракумский), наши грандиозные строительства были бы чрезвычайно затруднены без соответствующей информационной и прогностической работы службы погоды.



# ОСНОВЫ КЛИМАТОЛОГИИ

## 1. Понятие о климатах и их классификации

Климатом данного места называется совокупность погодных условий за определенный длительный промежуток времени. Характеристиками погодных процессов, особенно важными для практического использования, являются температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра, количество осадков.

Одной из задач климатологии является систематизация различных типов климата, наблюдающихся на земном шаре, — классификация климатов.

До сих пор еще не установлена классификация, основанная на физически обоснованных данных, исходящих из анализа физических характеристик свойств воздушных масс (см. главу II — синоптическая метеорология), — и пока приходится пользоваться в значительной мере формальными схемами, предложенными различными учеными.

Наибольшим распространением пользуется схема, предложенная проф. Келпеном (Köppen). Приведем ее главнейшие данные. Обозначим буквами *A*, *B*, *C*, *D*, *E* температурные характеристики климатов.

Пусть: климаты *A* и *B* (области климатов экваториальных) характеризуются тем, что даже минимум температуры не спускается ниже  $+18^{\circ}$  по средним месячным величинам.

*C* — области умеренных климатов — имеют средние месячные температуры наиболее холодного месяца между  $+18^{\circ}$  и  $-3^{\circ}$ . *D* (области климатов с определенно-выраженной зимой, с ежегодным снежным покровом) имеют по крайней мере 4 месяца со средней температурой выше  $+10^{\circ}$ .

*E* — области тундр — нет ни одного месяца с температурой выше  $10^{\circ}$

Второй характеристикой служит годовое количество распределения осадков; обозначим через

*f* — те климаты, в которых осадки обильны и распределяются сравнительно равномерно по всему году,

*s* — минимум осадков летом,

*w* — минимум осадков зимой,

*S* — годовую сумму осадков (величина эта в общем мала — меньше 250 мм в год),

*W* — годовую сумму осадков (величина эта минимальна).

Очевидно, что каждому типу климата будет соответствовать типичный для него характер растительного покрова; в таком случае получим следующую ориентировочную схему климатов по Келпену.

*Af* — климаты экваториальных лесов;

*As*, *Au* — климаты экваториальной лесостепи;

*BS* — климаты экваториальных степей;

*BW* — климаты экваториальных пустынь;



*Cf* — климат вечнозеленых лесов умеренного пояса (Средиземноморский),

*Cs* — климат вечнозеленых лесов с засушливым летом;

*Cw* — климат вечнозеленых лесов с засушливой зимой;

*Df* — влажный климат с холодной зимой (климат лесов);

*Ds* — климат с холодной зимой и засушливым летом (лесостепь и степь);

*Dw* — климат с холодной и засушливой зимой (лесостепь и степь);

*E* — климат тундры.

Как видно, эта схема позволяет уложить разнообразие наблюдающихся климатических условий земного шара в сравнительно немногочисленные типы; заметим, что вполне возможна и дальнейшая детализация указанных климатических областей; для СССР она прекрасно проведена проф. Вознесенским (приложение III, в конце книги).

К этой классификации близка схема проф. Берга, предусматривающая следующие крупные типы климатов.

А. К л и м а т н и з и н: а) климаты океанов, б) климаты суши.

Б. Климаты возвышенностей: а) климаты нагорий и плато, б) климаты горных систем и отдельных гор.

Даем перечень климатических зон СССР по Бергу с краткой характеристикой их по температуре и осадкам, приводя параллельно наиболее близкие формулы Кеппена.

1. *Климат тундры*. В СССР на крайнем Севере европейской и азиатской части Союза (по Кеппену климат *E*) средняя температура самого теплого месяца не превышает  $10^{\circ}$ , но не ниже  $0^{\circ}$ . Годовое количество осадков небольшое, менее 300 мм. Максимум осадков летом, местами в начале осени. Снеговой покров не достигает большой мощности, что способствует сильному промерзанию почвы, создавая этим условия, благоприятные для сохранения вечной мерзлоты почвы.

2. *Климат тайги*. В СССР европейская часть Союза севернее линии Ленинград — Киров, почти вся Сибирь, кроме частей Забайкалья, Среднего Амура и Уссурийского края — по Кеппену климат *Dw*. Температура от одного до четырех месяцев выше  $10^{\circ}$ , зимы суровые. Резко выражена континентальность климата. Годовая амплитуда температуры более  $10^{\circ}$ . Большое распространение вечной мерзлоты в почве. Годовое количество осадков умеренное — 300—600 мм. Максимум осадков — летом.

3. *Климат лиственных лесов умеренной зоны*. В СССР европейская часть Союза между линиями Ленинград — Кировск и Харьков — Бобров — Куйбышев, юг Западной Сибири, Минусинские степи, среднее течение Амура и Уссурийский край. По Кеппену климат *Df*.

Средняя температура 4 месяцев — от  $10$  до  $22^{\circ}$ . Зимы менее суровы. Осадки выпадают во все времена года, но преобладают летом. Снеговой покров бывает всюду.

4. *Климат степей*. В СССР юг европейской части СССР, северная часть Казакстана и часть Забайкалья — по Кеппену климат *Ds*. Этот тип климата может быть разделен на два подтипа.

а) климат степей с прохладными зимами и

б) климат степей с теплыми зимами.



Мы даем характеристику только первого подтипа, поскольку в СССР имеет место именно этот подтип. Он отличается теплым и сравнительно сухим летом: средняя температура каждого из летних месяцев — от 20 до 23,5°. Годовое количество осадков от 200 до 400 мм. Максимум их приходится на июнь-июль. Бывают годы с засухой, когда летом в течение месяца и более совершенно не выпадают дожди.

5. *Климат средиземноморский*. В СССР: южный берег Крыма от Фороса до Алушты, побережье Западного Закавказья от Новороссийска почти до Туапсе по Кеппену — климат *Cs*. Лето жаркое и сухое. Зима теплая, влажная. Осадки осенью, зимой и весной. Летом осадков выпадает очень мало.

6. *Климат зоны субтропических лесов*. В СССР: Западное Закавказье от Туапсе до Батума, Рионская долина до Кутаиса, по Кеппену климат *Cf*. Лето жаркое с большим количеством осадков. Зимы теплые, средняя температура самого холодного месяца более +2°. Зимой осадков выпадает меньше, чем летом.

7. *Климат внутриматериковых пустынь умеренного пояса*. В СССР: пустыни Западного Туркестана, южные степи Казакстана, полупустыни Астраханского края, Терско-Кумская полупустыня, низовья Куры и Аракса, Каспийское побережье Кавказа, по Кеппену, климат, близкий к *BS* и *BW*. Лето жаркое, сухое. Самый теплый месяц имеет среднюю температуру от +20 до +30°. Зимы прохладные. Средняя температура самого холодного месяца ниже +2° и падает до —16°. Годовое количество осадков менее 300 мм. Во все сезоны их мало, но особенно мало летом.

Анализируя причины, обуславливающие климат, приходим к следующим заключениям.

Основным фактором является солнечная радиация, обуславливающая годовое количество солнечной энергии земного шара и его частей, сообразно их астрономическому положению. Однако присутствие атмосферы и различные своеобразия поверхности земного шара вносят в эти элементы солярного климата значительные изменения.

К дополнительным факторам относятся: 1) распределение суши и моря, 2) морские течения, 3) орография местности, 4) особенности циркуляции атмосферы для изучаемой местности; в зависимости от этих фактов и складывается реальный климат местности. К учету и объяснению этих влияний и должны быть направлены задачи климатологии. Очевидно далее, что климат не может нами изучаться как что-то абстрактное и оторванное от других характеристик земной поверхности — почвы, растительности и животного мира и наконец деятельности человеческого общества.

Наоборот, окончательное раскрытие климата возможно только во взаимодействии и учете взаимных влияний воздушной оболочки с подстилающей поверхностью. Деятельность человека на различных ступенях развития производства по-разному воспринимала климатические влияния и сама по-разному влияла на климат освоенных областей: на низшей ступени развития производства у кочевых и охотничьих народов климат во многом обуславливал самый характер производственных отношений, по мере же обогащения техники и орудий производства чело-



век сам начал видоизменять свою деятельность климат все более и более значительных областей. В социалистическом обществе ставятся и решаются вопросы, в результате которых будут улучшены, мелиорированы климатические условия огромных по новому осваиваемых областей; сюда относятся осуществляемые проблемы орошения Заволжья; многих частей Средней Азии, и наконец рационализация землепользования всего СССР — все это приведет к коренной мелиорации климата всего Союза.

## 2. Краткое описание климатов СССР

Основные черты климата СССР складываются из следующих особенностей его географического, гидрографического и орографического положения: СССР занимает огромную территорию на северной половине материка Евразии; с запада и востока СССР или подходит близко, или омывается Атлантическим и Тихим океанами.

Главнейшее климатическое влияние океанов и морей заключается в их умеряющем влиянии: в морском климате годовые и суточные амплитуды меньше, зима теплее, лето умереннее, чем в глубине материка, что вполне объясняется большой теплоемкостью водных масс, медленнее нагревающихся летом, но и медленнее охлаждающихся зимой.

Различие же теплоемкости материка и океана обуславливает возникновение особой местной циркуляции воздушных масс, охватывающей прибрежные области и носящей название муссонов.

Муссоны — ветры, дующие зимою с суши на море (суша холоднее зимой и градиент давления направлен с суши на море) и летом с моря на сушу (летом море холоднее и градиент давления направлен с моря на сушу).

В условиях восточного побережья Союза муссоны приносят дожди во вторую половину лета и обуславливают летний паводок рек.

Таким образом вся европейская часть СССР и Дальневосточное побережье обладают умеренно-морским климатом со сравнительно мягкой зимой и умеренным влажным летом, для европейской части СССР морское влияние усугубляется прохождением в западной части Атлантического океана и отчасти в Баренцовом море теплого течения Гольфстрем. Однако области распространения морского влияния на западе и востоке не одинаковы — отсутствие меридионально направленных горных хребтов в западной части Союза позволяет ему распространяться далеко к востоку — по крайней мере до Урала, тогда как меридионально идущие хребты Дальнего Востока более ограничивают влияние Тихого океана.

Орографическими же особенностями во многом объясняется мощное влияние, оказываемое почти на весь СССР Арктикой. Волны холода распространяются почти до крайних южных пределов Союза и в европейской и азиатской его частях и обуславливают наблюдаемые у нас резкие понижения температуры. Наконец огромное влияние оказывают на климат СССР барические условия: с западных румбов, как было показано выше, преимущественно приходят циклонические образования, приносящие с собой переменную, неустойчивую погоду, находящую свое климатическое отражение в значительности пределов колебания, давления возду-



ха, направлении и силы ветра, температуры и влажности воздуха и выпадения осадков, наблюдаемых в европейской части СССР (циклонический тип климата). Наоборот, огромные массы Азиатского материка благоприятствуют развитию устойчивых барических максимумов. Антициклоны, в зимнюю половину года, обуславливают устойчивый, резко континентальный климат Восточной Сибири и Казахстана, характеризуемый повышенным давлением воздуха, ясным небом, незначительной скоростью ветров, низкой (зимой), температурой воздуха, малым количеством осадков.

Понятно, что наиболее резкие изменения и переходы климата из одного типа в другой наблюдаются в непосредственной близости климато-разделяющих областей — в предгорьях и горных хребтах, на берегу океанов и т. п.

Таким образом надо всегда помнить, что только полный учет и анализ всех физических факторов и их влияний может объяснить наблюдаемые черты климата — иначе останутся непонятными многочисленные факты, из которых можно убедиться, что местности, имеющие одинаковые широты, обладают различным климатом и наоборот могут быть климатически весьма близки между собою области, географически далеко лежащие друг от друга.

Все эти основные черты и особенности можно видеть на карте проф. Вознесенского. На ней выделены различные области, согласно классификации Кеппена.

Для числовой характеристики различных климатических областей приведем таблицы I, II, III и IV (в конце книги), дающие значения некоторых климатических характеристик, особенно интересных для дорожников. Эти таблицы показывают, что средние годовые температуры на территории Союза колеблются от  $+17,6$  до  $-17,3^{\circ}$ ; январские средние достигают  $-50,5^{\circ}$ ; влияние моря и континента сказывается необычайно ясно: уже в Москве январь холоднее, чем в Ленинграде, в Оренбурге январь в два раз холоднее Ленинграда, хотя Москва, а особенно Оренбург находятся много южнее. Даже расположенный вблизи Ленинграда Новгород имеет более низкую среднюю январскую температуру, хотя Новгород южнее Ленинграда. Особенно резко заметна континентальность климата, если рассматривать станции, расположенные приблизительно на одной широте. Так, начиная от Ленинграда к востоку через Киров, Тобольск до Олекминска средние январские температуры уменьшаются, амплитуды возрастают, но в Охотске сказывается влияние моря. В Олекминске в январе температура  $-36,3^{\circ}$ , а в Охотске значительно выше  $-23,6^{\circ}$ . Амплитуда в Олекминске  $55,2^{\circ}$ , а в Охотске  $36,5^{\circ}$ . Лето в Охотске прохладнее, чем в Олекминске. Такое же проявление континентальности от запада к востоку видно и для пунктов, расположенных по 51-й широте от Конотопа до Гоша. Исключением среди этих пунктов является до некоторой степени Иркутск, на котором сказывается влияние Байкала. Так, по сравнению с Верхнеудинском Иркутск имеет менее холодную зиму и меньшую годовую амплитуду, хотя Верхнеудинск южнее Иркутска. В ряде пунктов средняя годовая температура отрицательна.

На основании долголетних наблюдений составляются климатологические атласы. Отдельные метеорологические элементы наносят на карты



в виде так называемых изолиний (линии равной температуры — изотермы; линии равного давления — изобары и т. д.). Можно также отдельные районы на картах закрашивать различными красками или одной краской в разных тонах, или штриховкой в зависимости от характеристики его по тому или иному метеорологическому элементу.

Дорожнику, который должен строить дороги наиболее рациональным образом, приходится пользоваться обширным климатологическим материалом, уметь разобраться в нем и выбрать из громадного материала ту часть, которая ему действительно нужна. Но приходится сказать, что большинство метеорологических и климатических данных пригодно дорожнику только для общих соображений, так как в специально дорожных интересах наблюдений произведено пока очень мало.

Поэтому ограничимся только несколькими замечаниями: во-первых, для использования общеклиматических данных для специальных целей транспорта в большинстве случаев приходится кроме того использовать или ставить наблюдения, относящиеся к так называемым малым объектам — холмам или выемке, по которой проходит дорога, лесным или болотистым массивам и т. п.

Глава «климатологии», изучающая эти местные особенности климата, называется «микроклиматологией».

Оказывается, что в большинстве случаев наблюдаются значительные отклонения от общеклиматических величин, зависящие от различия в теплоемкости объектов, характера почвы и растительного покрова, различной ориентировки склонов относительно стран света и т. д. Например в практических целях представляет интерес значение рельефа для климата местности. В вогнутых (отрицательных) формах рельефа (долинах, котловинах) суточные колебания температуры велики; на горе или холме — условия обратные — суточная амплитуда меньше. В вогнутых формах рельефа наблюдаются и более низкие минимумы и более поздние заморозки. Так на ст. Полибино ( $53^{\circ}44'$ , в бывшей Самарской губ.), лежащей в низине (абсолютная высота над уровнем моря = 108 м) и на отстоящем от нее на 10 км Ключевском хуторе, расположенном на плато (абсолютная высота 185 м), отмечены следующие минимальные температуры:

|                       | Полибино | Ключевский хутор |
|-----------------------|----------|------------------|
| 4/I 1901 г. _____     | —42,0    | —36,2            |
| 17/VIII 1899 г. _____ | — 0,4    | + 4,3            |

Зимний минимум в Полибине почти на  $6^{\circ}$  ниже, чем в соседнем Ключевском хуторе. Но важнее для практиков, что в Полибине в середине августа уже могут наступить морозы, тогда как в Ключевском хуторе в это же время температура воздуха значительно выше  $0^{\circ}$

**Среднее время наступления морозов за 1895 — 1906 гг.**

|                                | Полибино | Ключевский хутор |
|--------------------------------|----------|------------------|
| Последний весенний мороз _____ | 31/V     | 16/V             |
| Первый осенний мороз _____     | 6/IX     | 18/IX            |
| Число дней без мороза _____    | 99       | 126              |



Классическое место влияния рельефа на климат — это часть СССР восточнее меридиана Байкала. В бывшей Амурской области были поставлены наблюдения на станции Пикан (широта  $53^{\circ}42'$ , восточная долгота  $127^{\circ}15'$ ) на горе, которая возвышается над долиной на 343 м, затем на увале, возвышающемся над долиной на 80 м и на самой долине (ст. Пикан 239 м над уровнем моря). Получились следующие результаты:

**Число безморозных дней за год**

|                |     |
|----------------|-----|
| На горе _____  | 157 |
| На увале _____ | 137 |
| В долине _____ | 118 |

**Средние суточные минимумы температуры в градусах**

|                | На горе | На увале | В долине |
|----------------|---------|----------|----------|
| Апрель _____   | —4,7    | —5,1     | —7,0     |
| Май _____      | 2,2     | 1,6      | —0,3     |
| Сентябрь _____ | 5,2     | 2,1      | —0,4     |
| Октябрь _____  | —3,9    | —6,1     | —9,7     |

Как видим, безморозный период на горе и увале продолжается дольше, чем в долине. Средние минимумы в мае и сентябре на горе и увале уже положительны, а в долине они еще отрицательны. Климат в долине более суровый, чем на горе и на увале, что подтверждается величиной средних за год суточных амплитуд: на горе  $6,9^{\circ}$ , на увале  $11,2^{\circ}$  и в долине  $15,8^{\circ}$ .

Влияние лесных массивов на климат местности видно из следующего примера.

В условиях СССР дорожникам часто приходится прокладывать или содержать дороги в лесных массивах. Лес в климатическом отношении своеобразен. Поверхностью, непосредственно воспринимающей лучистую энергию, в лесу становятся кроны деревьев, поверхность земли в этом отношении играет второстепенную роль. Так, по наблюдениям Рудовица, в 12 часов дня 18 июня 1906 г. в Боровом лесничестве температура воздуха в мелких хвойных лесных насаждениях была в вертикальном направлении такова:

| Высота над поверхностью почвы          | Температура воздуха |
|----------------------------------------|---------------------|
| 0 см (у самой поверхности почвы) _____ | $21,3^{\circ}$      |
| 10 » (от поверхности почвы) _____      | $28,8^{\circ}$      |
| 35 » (у поверхности хвои) _____        | $38,6^{\circ}$      |

Как видно из таблицы, температура воздуха у самой поверхности земли много ниже, чем на уровне хвои. Происходит это потому, что лучистая энергия солнца непосредственно нагревает хвою верхушек деревьев (и верхние сучья разумеется), а от них уже нагревается и воздух на уровне верхушек деревьев.

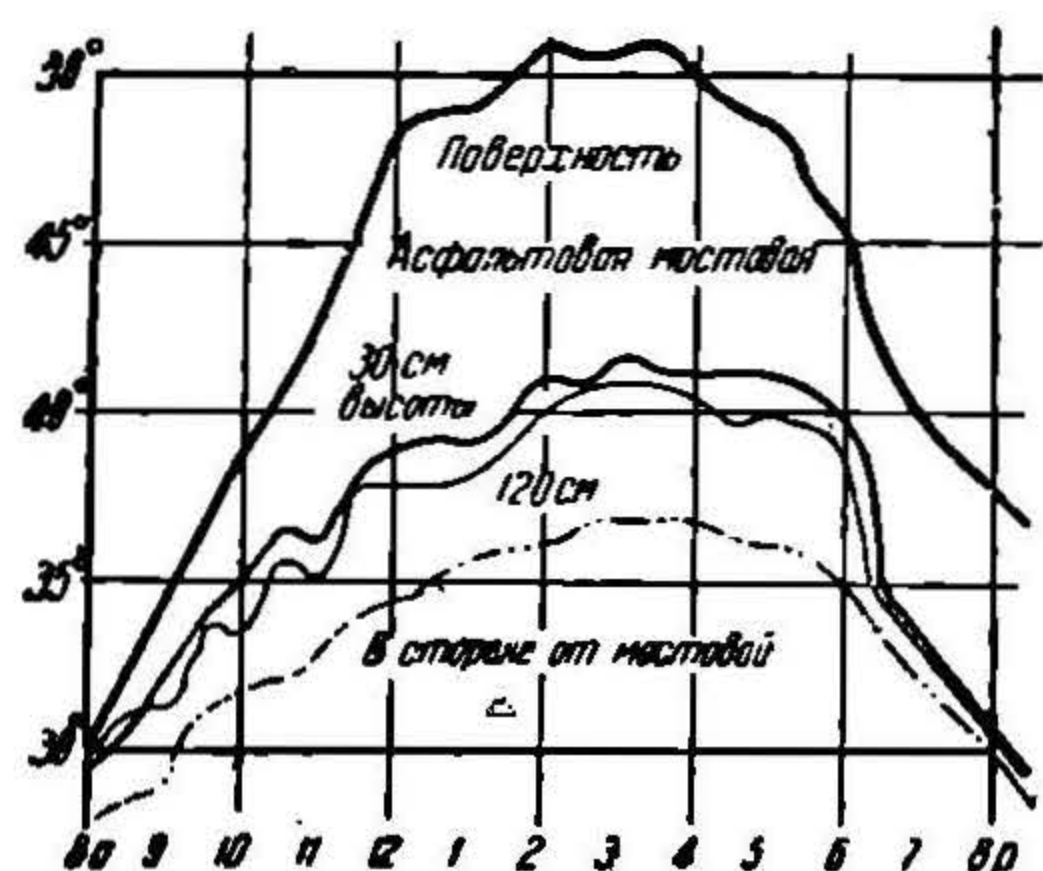
Наконец отдельные климатические характеристики для дорожника особенно важны. Поясним это также на отдельных примерах. Одним из основных воздействий погодных условий на полотно дороги является комплекс физических характеристик воздуха и почвы, ухудшающих проезд-



жаемость дороги и в отдельных случаях приводящих к распутице. Повторяемость этих условий из года в год придает ему свойства особой климатической характеристики для многих областей СССР.

С этой точки зрения трасса представляет собой особую микроклиматическую область, подлежащую специальному изучению, главным образом со стороны баланса тепловых условий, влажности и испарения, обуславливающих ее загрязнение и высыхание.

Чтобы показать, насколько резко могут отличаться микроклиматические условия дорожного полотна от величин, даваемых обычными метеорологическими наблюдениями, приведем пример изменения температуры



Фиг. 33. Температуры над асфальтовой мостовой.

над асфальтовой мостовой. Наблюдения сделаны Итоном (G. S. Eaton) в Риверсайде (штат Иллинойс) 7 августа 1918 г. на асфальтовой мостовой и на некоторой высоте над ней: нижняя кривая относится к наблюдениям в тени, в 10 м от мостовой (фиг. 33).

Проезжаемость дорог увязывается с величинами температуры и абсолютной и относительной влажности воздуха и их годовыми и сезонными изменениями.

Объяснение этому надо искать в том, что от этих факторов главнейшим образом зависят величина и скорость испарения выпадающей влаги, хотя измерение скорости испарения принадлежит к наименее точно поставленным наблюдениям. Дадим следующий ряд цифр по испарителю Вильда.

| Станции                            | Ленинград | Москва | Одесса | Акмолинск | Туркестан (город) | Султан-Бенд |
|------------------------------------|-----------|--------|--------|-----------|-------------------|-------------|
| Широта                             | 59°56′    | 55°50′ | 46°29′ | 51°12′    | 43°18′            | 37°00′      |
| Испарилось на приборе Вильда в год | 320 мм    | 417 мм | 584 мм | 926 мм    | 2035 мм           | 2764 мм     |

Хотя цифры испарения по прибору Вильда не соответствуют действительному испарению, а только указывают на возможную интенсивность его, тем не менее за отсутствием данных о действительном испарении и этот ряд показывает нам, каков порядок величины испарения в различных пунктах нашей страны. Понятны из этой таблички те массы пыли на дорогах Средней Азии, которые там являются бедствием в дорожном деле. Испаряемость в Туркестане почти в 7 раз, а в Султан-Бенде почти в 9 раз больше, чем в Ленинграде.

Приведем еще данные испарения, полученные при помощи испарителя Рыкачева; опыты были поставлены во Власове бывшего Петергофского уезда в 1905 г. Было установлено три испарителя — в одном был



посеян овес, другой был под черным паром, в третьем находилась земля с естественным травяным покровом. Результаты таковы:

| Месяцы   | Испарение в мм |      |      | Осадки<br>в мм |
|----------|----------------|------|------|----------------|
|          | Черный пар     | Дерн | Овес |                |
| Июнь     | 50             | 84   | 130  | 106            |
| Июль     | 80             | 95   | 119  | 108            |
| Август   | 61             | 71   | 79   | 89             |
| Сентябрь | 25             | 36   | —    | 57             |

С дорожной точки зрения наиболее интересен испаритель под черным паром, так как такое состояние почвы ближе к дороге, чем трава или овес. Но дорога все-таки отличается от черного пара тем, что грунт на ней уплотнен, а при черном паре верхняя часть грунта взрыхлена. С дороги испарение должно быть больше, чем с черного пара, кроме мест на дороге, покрытых пылью. Во всяком случае, судя по этой таблице можно ожидать, что с дороги испаряется больше, чем с черного пара.

Испарение с пространств, занятых лесом, больше, чем с полей. Но испарение с самой лесной почвы, в силу особых климатических условий леса, должно быть меньше, чем с почвы открытых мест. Приведем данные сравнительных наблюдений испарения с водной поверхности в поле и в лесу, произведенных при помощи прибора Лермонтова-Любославского (в Боровом лесничестве бывшей Самарской губ.).

С мая по сентябрь включительно получились следующие суммы испарения:

|                     | 1906 г.  | 1907 г.  | 1908 г.  | 1909 г.  | Среднее  |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Поле                | 709,4 мм | 658,4 мм | 651,2 мм | 619,9 мм | 659,7 мм |
| Лес                 | 268,7 »  | 267,7 »  | 224,1 »  | 328,6 »  | 272,3 »  |
| Процент леса к полю | 38       | 41       | 35       | 53       | 41       |

С водной поверхности в лесу испаряется только  $\frac{2}{5}$  того, что испаряется с водной поверхности в поле. Эти данные объясняют более быстрое просыхание дорог в поле сравнительно с лесом.

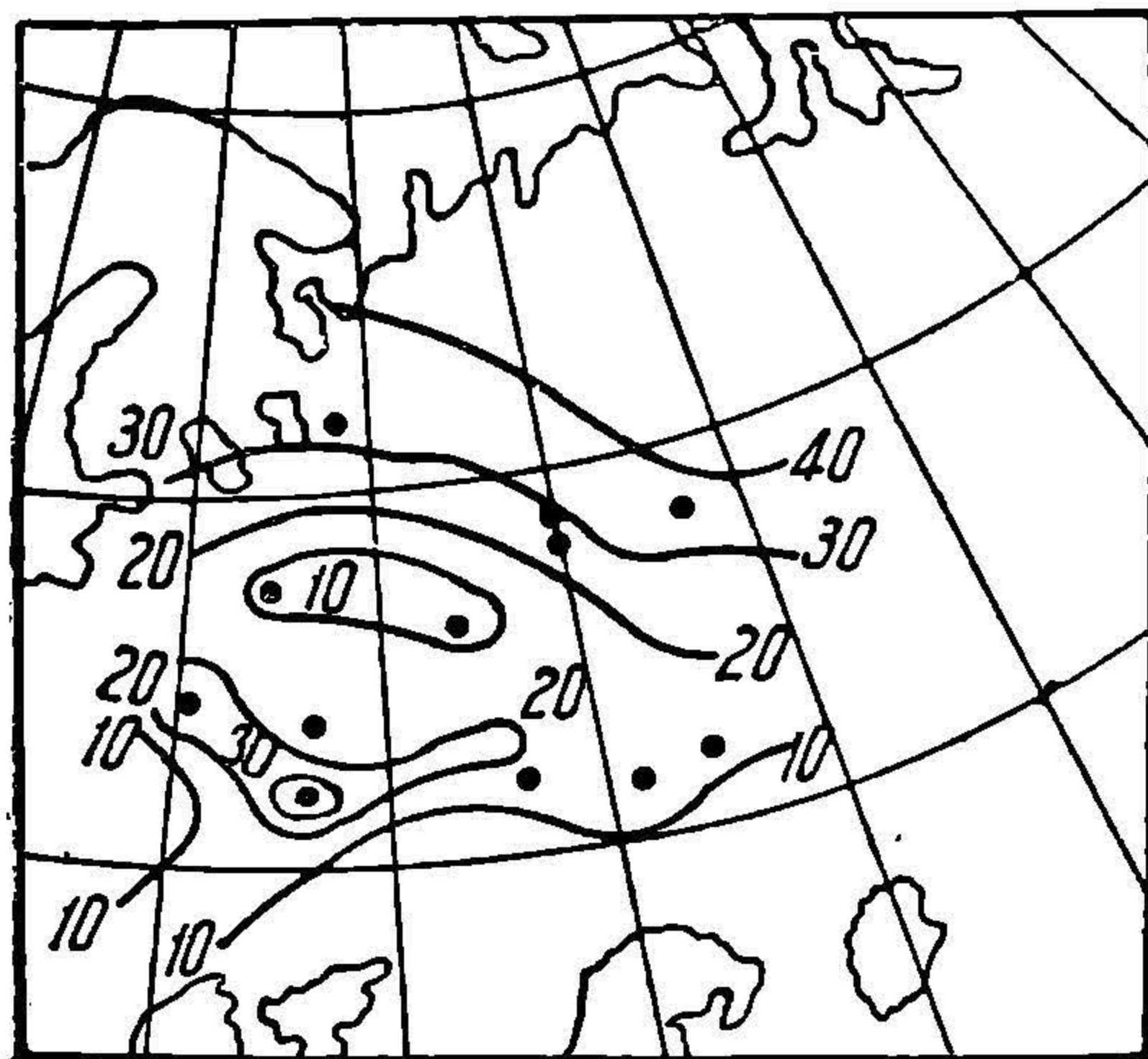
Для дорожников большое значение имеют также специальные наблюдения над осадками, помимо общего их количества, приведенного уже в таблице (в конце книги). Необходимо изучать распределение их по сезонам. Характер их выпадения (количество и интенсивность ливней и обложных дождей), а для зимних — повторяемость, продолжительность и интенсивность метелей, высоту, время появления и схода снегового покрова.

Некоторые из этих величин даются нами в таблицах, кроме того прилагается карта числа метелей в европейской части СССР (фиг. 34).

Нужно большое количество лет наблюдений, чтобы вывести надежные месячные и годовые средние величины осадков, причем в отдельные



годы месячные и годовые суммы осадков сильно отличаются от соответственных средних величин. Точно так же при одновременном выпадении осадков на соседних пунктах — в одном может выпасть осадков во много раз больше, чем в соседнем. Поэтому нужно в дорожных целях точное знание сумм осадков — нельзя опираться на наблюдения соседних станций, а



Фиг. 34. Изолинии среднего годового количества метелей.

следует установить специальные дождемерные наблюдения в том месте, где хотят определить сумму выпадающих осадков (например при определении стока вод осадков с полотна дороги, при учете дорожно-машинных работ и т. п.). Имеющиеся в общих метеорологических таблицах данные могут служить лишь как материал для решения вопросов в общем виде, например для суждений об общем характере местности в отношении выпадения осадков.

Приводим таблицы среднегодового количества осадков, высоты снежного покрова и числа дней со снеговым покровом для метеорологических станций, расположенных по меридианам и параллелям (табл. III и IV, в конце книги). Цифра 0 обозначает отсутствие снежного покрова, а тире — отсутствие данных. Высота снежного покрова за месяц взята максимальная из средних декадных величин.

Приведем количество метелей для европейской части СССР (фиг. 34). В годовом ходе метелей наибольшее число их приходится на январь и февраль с максимумом в большинстве случаев в январе.

Среднее число метелей по месяцам и за год

| Месяцы  | Пермь | Курск | Ленинград | Луганск | Уральск | Умань | Василевичи |
|---------|-------|-------|-----------|---------|---------|-------|------------|
| Октябрь | 0,8   | 0,5   | 0,2       | 0,0     | 0,3     | 0,0   | 0,1        |
| Ноябрь  | 5,5   | 3,9   | 2,8       | 0,2     | 1,0     | 0,2   | 0,5        |
| Декабрь | 5,1   | 6,6   | 6,1       | 0,6     | 2,7     | 3,0   | 2,0        |
| Январь  | 8,1   | 9,8   | 8,7       | 1,3     | 4,5     | 3,5   | 2,6        |
| Февраль | 7,2   | 6,1   | 7,1       | 1,0     | 3,0     | 4,4   | 2,3        |
| Март    | 3,8   | 4,0   | 3,7       | 1,0     | 1,9     | 1,9   | 1,2        |
| Апрель  | 1,0   | 0,9   | 0,6       | 0,1     | 0,3     | 0,3   | 0,1        |
| Май     | 0,1   | 0,0   | 0,2       | 0,0     | 0,0     | 0,0   | 0,0        |
| За год  | 37,0  | 31,8  | 29,5      | 4,2     | 14,1    | 13,3  | 8,7        |



В заключение отметим значение снежного покрова, как защиты почвы от охлаждения. Теплопроводность снега в рыхлом его состоянии равна 0,0003—0,0005, льда 0,0051, воды 0,0014, песка 0,0043, гранита 0,0097, а воздуха 0,00005 (в секунду малых калорий на  $\text{см}^2$  при разности температур в  $1^\circ$  на расстоянии 1 см). Подробные наблюдения в природных условиях над защитным действием снегового покрова произведены на Дальнем Востоке. Приводим здесь из этих наблюдений некоторые данные:

Станция Пикан ( $53^\circ 42'$  северной ширины,  $127^\circ 15'$  восточной долготы). Зима 1912—1913 гг.

| Месяцы  | Средняя высота снежного покрова в см | Абсолютная минимальная температура |                     |
|---------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------|
|         |                                      | На поверхности снега               | На почве под снегом |
| Ноябрь  | 6                                    | — $41^\circ$                       | — $17^\circ$        |
| Декабрь | 6                                    | — $50^\circ$                       | — $26^\circ$        |
| Январь  | 8                                    | — $48^\circ$                       | — $24^\circ$        |
| Февраль | 8                                    | — $45^\circ$                       | — $23^\circ$        |
| Март    | 6                                    | — $40^\circ$                       | — $21^\circ$        |

Станция Гош ( $51^\circ 24'$  северной ширины,  $129^\circ 12'$  восточной долготы). Зима 1913—1914 гг.

| Месяцы  | Средняя высота снежного покрова в см | Абсолютная минимальная температура |                     |
|---------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------|
|         |                                      | На поверхности снега               | На почве под снегом |
| Ноябрь  | 15                                   | — $48^\circ$                       | — $8^\circ$         |
| Декабрь | 23                                   | — $47^\circ$                       | — $15^\circ$        |
| Январь  | 28                                   | — $51^\circ$                       | — $19^\circ$        |
| Февраль | 30                                   | — $42^\circ$                       | — $18^\circ$        |
| Март    | 37                                   | — $43^\circ$                       | — $14^\circ$        |

Из этих таблиц видим, насколько сильно защищает снежный покров почву от охлаждения. Ясно, что если где-либо по условиям работ нужно сохранить почву от сильного промерзания, стоит ее только покрыть достаточной мощности снеговым покровом в рыхлом состоянии. Но на дорогах снег находится в уплотненном состоянии: ясно, что его защитное действие должно быть значительно меньше, но насколько — пока нельзя сказать, так как не было соответственных наблюдений.

НБ  
удунт  
(дпт)



## **ОСНОВЫ СНЕГОВОРЬБЫ**

### **I. Необходимость борьбы со снежными заносами**

Хорошо известно, что толстый слой рыхлого снега представляет значительные затруднения для гужевого транспорта — даже при полозном типе экипажа. Для машинных экипажей также создаются препятствия движению, так как колеса глубоко вязнут в снегу и буксуют. Поэтому наличие на полотне дороги сугробов снега всегда является помехой нормальному движению по дороге.

Отсюда вытекает необходимость систематической борьбы с образованием снежных отложений на полотне дорог, так называемых снежных заносов.

Спокойные снегопады в большей части территории нашего Союза редко дают очень мощный слой снега. Обычно снеговой покров накапливается небольшими порциями, что дает возможность без больших затруднений поддерживать полотно дороги в легкопроезжаемом состоянии.

Но очень часто выпадение снега сопровождается более или менее значительным ветром, который переносит по поверхности снежного покрова выпадающие на нее снежинки и даже ранее выпавшие и лежавшие в поверхностном слое покрова частицы снега; иногда ветер и без снегопада переносит частицы ранее выпавшего снега. Переносимые ветром снежинки могут в известных условиях задерживаться на полотне, образуя более или менее значительные переметы и сугробы, а на некоторых участках, где этому способствует поперечный профиль дороги, — образуя и мощные отложения снега на значительном протяжении — снежные заносы. В обширных степных районах такие явления достигают большой силы и случаются довольно часто.

Для борьбы с заносами обычные средства поддержания полотна в удобном для движения состоянии оказываются уже недействительными. Здесь требуется применение более мощных и сложных средств очистки полотна от снега — специальных машин, снегоочистителей и снегоуборщиков, а главное — постоянной защиты полотна дороги от приносимого ветром снега, так как одними уборочными средствами, как бы мощны они ни были, невозможно все время поддерживать дорогу в нормальном состоянии.

### **2. Ветер в нижних слоях воздуха**

Своеобразная неоднородность земной поверхности, особенно создаваемая рельефом, растительностью, строениями, оказывает значитель-



ное влияние на воздушные течения. Трение о поверхность вызывает уменьшение скорости в нижних слоях воздушного течения и создает в большей или меньшей степени возникновение возмущений и завихрений в воздушном потоке, местные изменения направлений и скоростей в движущейся воздушной массе. В результате воздушный поток, особенно в нижних слоях, отличается значительной порывистостью, неустойчивостью, турбулентностью. Скорость воздушного потока, естественно, наименьшие значения имеет у самой поверхности и заметно возрастает с поднятием в более высокие слои. Наиболее резкое увеличение скорости с высотой наблюдается в самых нижних слоях над поверхностью. По наблюдениям, произведенным Н. А. Каруниным на Воденяпинской снеготранспортной опытной станции Научно-исследовательского института пути НКПС на Казанской железной дороге, скорости ветра по высоте изменялись в среднем так, как указано в таблице.

Ослабление скорости ветра по мере приближения к поверхности, покрытой снежным покровом, меньше, чем над поверхностью обнаженной земли. Это является результатом меньшей шероховатости снежного покрова.

### 3. Перенос и отложение снега

Очень слабый ветер не оказывает влияния на снеговой покров. Но при увеличении средней скорости ветра до 5—6 м/сек (на обычной высоте измерений) порывы ветра начинают уже отрывать с поверхности покрова отдельные частицы (снежинки) и передвигать их по поверхности. По мере увеличения скорости ветра количество отрываемых частиц значительно увеличивается; возрастает конечно и скорость их передвижения по поверхности покрова. По гладкой, ровной поверхности снега частицы его могут передвигаться ветром на неопределенно далекие расстояния.

Для отрыва и передвижения частиц снега требуются известные скорости ветра, поэтому при ослаблении ветра передвигаемые им снежинки перестают двигаться. Естественно, что передвижение тяжелых частиц прекращается раньше, чем более мелких. Если во время своего передвижения под действием ветра частицы снега попадают в места, где ветер имеет меньшую скорость, чем требуется для передвижения данных частиц, то снежинки останавливаются и оседают в этих местах. Такие места ослабления скорости ветра (аэродинамическая тень), иногда почти до полного затишья, имеются около различных препятствий на пути ветра, какими являются кусты, строения, деревья, резкие изменения рельефа и даже более мелкие, как например камень, лень, какой-нибудь предмет, лежащий на поверхности снега. Точно так же во всякой резко выраженной впадине — в канаве, выемке, овраге — образуются зоны очень слабых скоростей ветра или затишья. Попадая в эти зоны, перено-

| Высота<br>анемометра<br>в м | Скорость ветра<br>в м/сек     |                                        |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
|                             | Над сне-<br>говым<br>покровом | Над жнивья-<br>ем по склону<br>покрова |
| 5                           | 8,0                           | 8,4                                    |
| 2                           | 7,5                           | 6,5                                    |
| 1                           | 7,0                           | 6,0                                    |
| 0,5                         | 6,2                           | 5,3                                    |
| 0,3                         | 5,8                           | 4,8                                    |
| 0,15                        | 5,3                           | 4,3                                    |
| 0,10                        | 5,0                           | 4,1                                    |
| 0,05                        | 4,6                           | 3,5                                    |
| 0,025                       | 3,8                           | 3,0                                    |

Для отрыва и передвижения частиц снега требуются известные скорости ветра, поэтому при ослаблении ветра передвигаемые им снежинки перестают двигаться. Естественно, что передвижение тяжелых частиц прекращается раньше, чем более мелких. Если во время своего передвижения под действием ветра частицы снега попадают в места, где ветер имеет меньшую скорость, чем требуется для передвижения данных частиц, то снежинки останавливаются и оседают в этих местах. Такие места ослабления скорости ветра (аэродинамическая тень), иногда почти до полного затишья, имеются около различных препятствий на пути ветра, какими являются кусты, строения, деревья, резкие изменения рельефа и даже более мелкие, как например камень, лень, какой-нибудь предмет, лежащий на поверхности снега. Точно так же во всякой резко выраженной впадине — в канаве, выемке, овраге — образуются зоны очень слабых скоростей ветра или затишья. Попадая в эти зоны, перено-



симые ветром снежинки выпадают и, накапливаясь, постепенно заполняют область затишья или малых скоростей ветра.

Переносимые ветром массы снега, встречая на своем пути полотно дороги нулевого поперечного профиля, свободно проходят по нему, не давая значительных отложений. Выемки же, представляющие собой резкие впадины земной поверхности, вызывают ослабление скорости ветра над полотном дороги, и это влечет за собой оседание переносимых ветром снежинок на откосах и на полотне.

При длительном переносе или при сильных ветрах, переносящих большие массы снега, в выемках образуются мощные отложения, сплошь покрывающие полотно дороги, т. е. снежные запасы.

#### 4. Влияние метеорологических условий

Свежевыпавший в тихую погоду снег лежит очень пушистым слоем. При достаточно низкой температуре, вследствие своей сухости, такой снег очень легко поддается действию ветра, т. е. снежинки легко отрываются ветром от поверхности и передвигаются.

Пролежавший несколько дней снег постепенно уплотняется; он уже менее легко поддается действию ветра, но все же переносится ветром умеренной силы в 7—8 м/сек.

При оттепелях верхний слой снежного покрова подтаивает и при последующем понижении температуры смерзается в плотный сплошной слой (так называемый «наст»), в котором уже нельзя выделить отдельных снежинок. Такой поверхностный слой снежного покрова не поддается действию даже довольно сильного ветра. Количество снега, переносимого ветром в единицу времени, является достаточно сложной функцией нескольких аргументов, в первую очередь скорости ветра и плотности верхнего слоя снега.

Поэтому явления переноса снега по своей силе чрезвычайно разнообразны.

#### 5. Особенности явлений переноса снега

Можно различать четыре вида явлений переноса снега: поземок, низовая метель, верхняя метель, общая метель.

**П о з е м к о м** (метеорологическое обозначение  $\overline{\mp}$ ) называется перенос ветром частиц ранее выпавшего снега, срываемых с поверхности снежного покрова. При этом выпадения снега из облаков нет; главной особенностью поземка является чрезвычайно малое приподнятие частиц снега над поверхностью покрова. Снежинки как бы катятся по поверхности, и лишь наиболее легкие из них поднимаются ветром на небольшую высоту над поверхностью.

При значительном или сильном ветре в подходящих условиях местности (ровные, открытые степные пространства) и при благоприятных метеорологических условиях (низкая температура, небольшая плотность поверхностного слоя снега) поземком переносятся весьма значительные массы снега. В местах отложений поземковый снег ложится очень плотно, так что по этим отложениям можно ходить, почти не оставляя следов; для расчистки этих отложений деревянные лопаты часто оказываются непригодными.



Н и з о в а я м е т е л ь (метеорологическое обозначение  $\overline{\pm}$ ) — явление переноса так же только ранее выпавшего снега. Отличие его от поземка заключается в том, что наиболее легкие частицы снега, снеговая пыль, поднимаются ветром на высоту нескольких метров, вследствие большой завихренности воздушного потока. Это создает впечатление значительной насыщенности воздуха снегом. Однако исследования показывают, что основная масса переносимого снега проходит у поверхности покрова.

Как видно из сказанного, между явлениями поземка и низовой метели существенных различий нет.

Оба эти явления при сильном развитии могут в сравнительно короткое время дать мощные отложения снега.

В е р х о в а я м е т е л ь (или верхняя метель, метеорологический значок  $\pm$ ; к нему следует добавить значок  $\star$  выпадения снега) представляет собою выпадение снега из облаков при значительном ветре, когда снежинки несутся ветром почти горизонтально, крутятся воздушными вихрями, но, выпав на поверхность покрова, они преимущественно остаются на месте без дальнейшего движения. Точно так же почти переносится ветром ранее выпавший снег с поверхности снегового покрова.

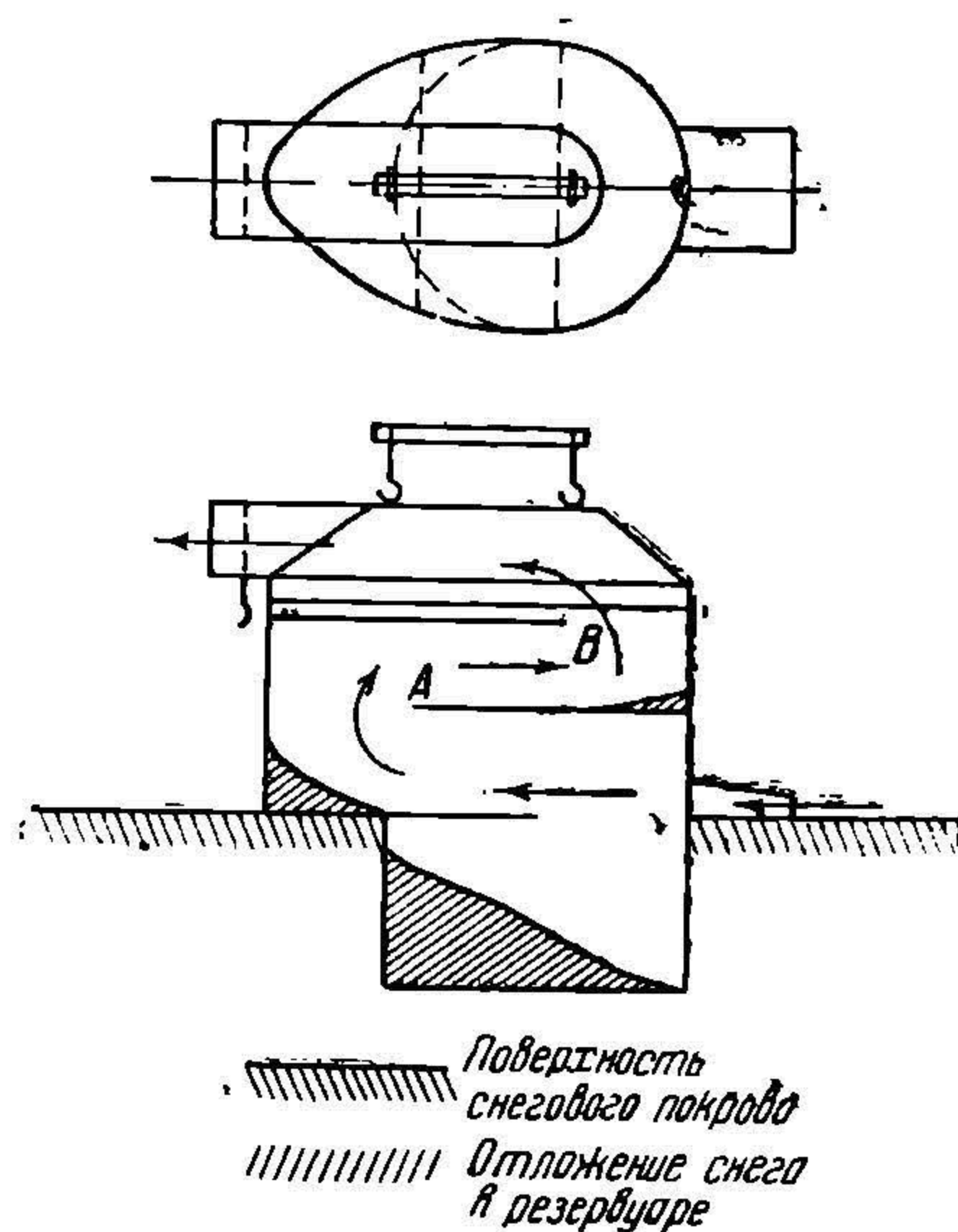
Эти явления обычно бывают при сравнительно высокой температуре, когда снег выпадает достаточно влажным и поэтому липким, что и препятствует значительному переносу падающих снежинок по поверхности покрова.

Поэтому в большинстве случаев верховые метели не представляют значительной опасности для транспорта.

О б щ е й и л и д в о й н о й м е т е л ью (метеорологический значок  $\overline{\pm}$ ; при нем следует ставить также значок  $\star$ ) называется явление поземка или низовой метели с одновременным выпадением снега из облаков.

*Измерение переноса снега.* Горизонтально переносимый ветром снег может быть измерен специальными приборами, называемыми метелемерами. Эти измерения дают представление о количествах снега, перенесенного ветром в течение например всего поземка или метели, продолжавшейся ряд часов, или о количестве снега, перенесенного в единицу времени в какой-либо период этого явления на разных высотах над поверхностью покрова.

Метелемер представляет собою резервуар, в котором должен отлагаться переносимый ветром снег; резервуар имеет входное отверстие, обращенное навстречу ветру, и выходное отверстие, в которое должен выходить воздух, прошедший через прибор и освободившийся от содержащегося в нем снега.



Фиг. 35. Метелемер (план и разрез).



Устройство метелемера основано на том принципе, что снеговетровый поток, поступающий через сравнительно небольшое отверстие в большой резервуар, значительно теряет свою скорость, вследствие расширения струй. При этом частицы снега выпадают на дно прибора. Для более полного оседания снега внутри резервуара устраиваются перегородки *A* и *B*, затрудняющие проход воздуха, следовательно уменьшающие скорость потока (фиг. 35).

Если метелемер предназначен для измерений на некоторой высоте над поверхностью, то резервуар обычно насаживается на вертикальный стержень, на котором он может вращаться, и снабжается флюгаркой; она держит прибор направленным входным отверстием всегда против ветра.

Метелемеры не являются достаточно точными приборами и требуют усовершенствований.

Уже первые измерения горизонтального переноса снега показали огромную количественную разницу между переносом в нижних слоях воздуха (у самой поверхности покрова) и переносом в более высоких слоях (1—2 м над поверхностью). Количество снега, переносимого ветром по поверхности, во много раз больше переноса в более высоких слоях воздуха.

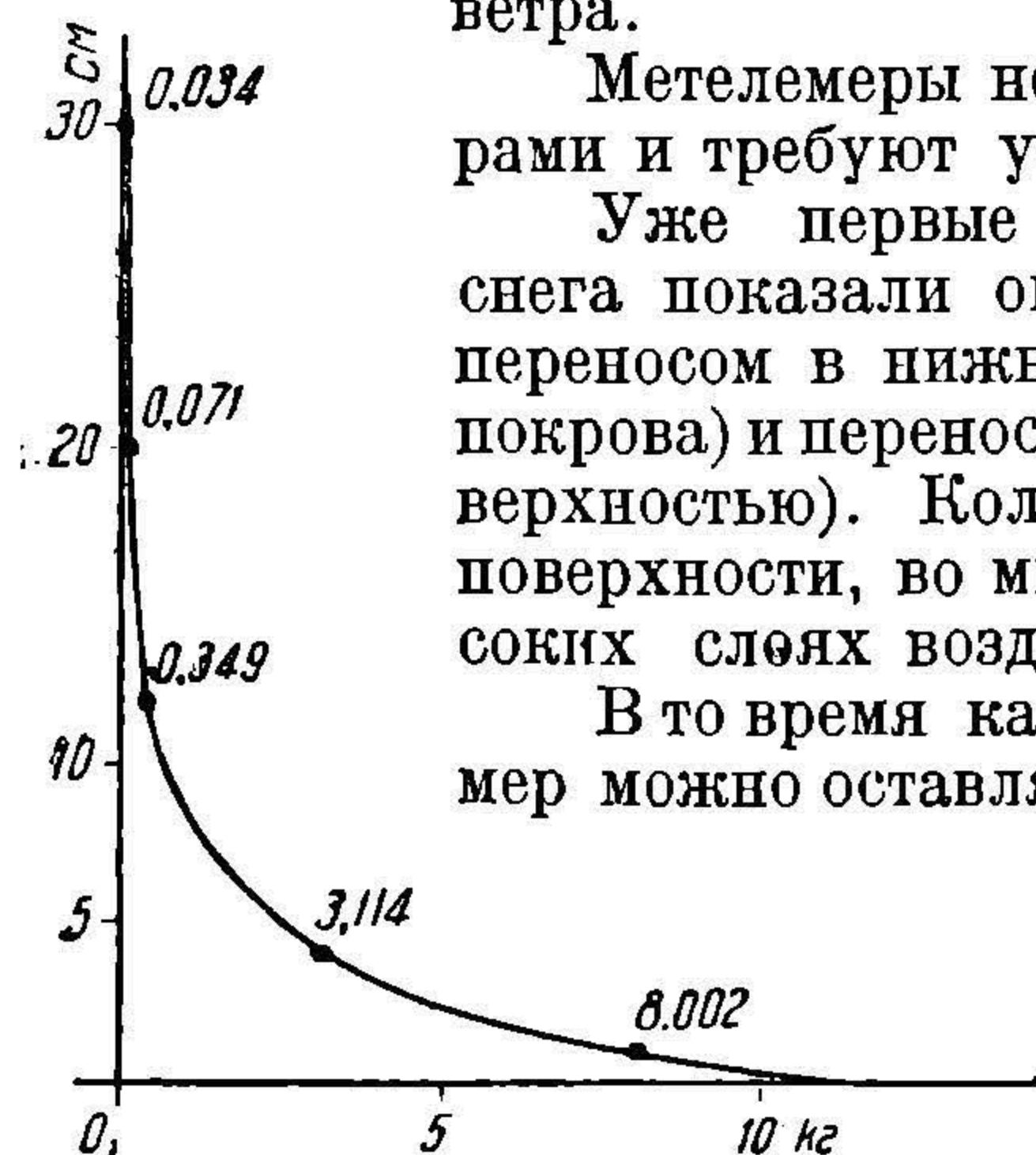
В то время как на высоте 20—30 см и выше метелемер можно оставлять на несколько часов, не опасаясь переполнения его снегом, в нижних слоях такой же метелемер наполняется снегом в гораздо более короткое время — при сильных переносах в течение 15—20 минут.

Перенесенный в помещение резервуар взвешивается на весах с точностью до 1—2 г, затем из общего веса прибора со снегом вычитается

тара, т. е. известный уже вес самого резервуара. Таким образом определяется вес собранного снега.

*Количественная характеристика явлений переноса.* Систематические измерения переноса снега на разных уровнях над поверхностью, производимые при различных явлениях переноса, дали возможность выяснить некоторые интересные свойства этих явлений.

Предположим, в течение метели было измерено метелемерами количество снега, пронесенного ветром на нескольких высотах над поверхностью покрова. Отложим по оси ординат высоты, на которых находились метелемеры (центры их входных отверстий), а по оси абсцисс — количества переноса на этих высотах, т. е. количества снега, пронесенного в течение всей метели через 1 см<sup>2</sup> площади входного отверстия, выраженное в килограммах (фиг. 36). Полученные точки соединим плавной кривой. Эта диаграмма характеризует распределение переносимого ветром снега по высоте в нижних слоях воздуха. Метелемеры, работавшие в нижних слоях, собрали за время метели очень большое количество снега (фиг. 36). С увеличением высоты приборов количество снега убывает, сперва быстро до высоты примерно 10—15 см, затем медленно.



Фиг. 36. Диаграмма распределения снега по высоте при метели.



Такой же характер имеют все кривые переноса снега, полученные для всяких явлений переноса.

Обычно характеризуют интенсивность метели количеством снега, переносимого в 1 минуту через щель шириной в 1 см и высотой в 2 м.

Для примера приведем некоторые цифровые данные, характеризующие сильный перенос снега во время метели 16 января 1929 г. на Воде-няшинской опытной станции.

|                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| Средняя интенсивность переноса снега на высоте 1 см над поверхностью | 10,8 г/мин |
| Максимальная интенсивность на высоте 1 см (из отдельных наблюдений)  | 37,9 »     |
| Средняя интенсивность переноса на высоте 4 см над поверхностью       | 4,2 »      |
| Максимальная интенсивность на высоте 4 см                            | 14,7 »     |
| Средняя интенсивность переноса на высоте 20 см                       | 0,1 »      |
| Средняя интенсивность переноса в слое нижних 10 см под поверхностью  | 46,9 »     |
| Средняя интенсивность переноса в слое 2 м высоты                     | 54,0 »     |

Во время этой метели скорость ветра временами держалась около 20 м/сек. В течение суток общее количество перенесенного снега в 2-метровом слое оказалось около 80 кг. На площадь решетчатого переносного щита (2×2 м) обрушилось следовательно около 16 т снега, т. е. около 50 м<sup>3</sup> (принимая плотность отложений снега в 0,30), давших снеговой вал с площадью поперечного сечения до 25 м<sup>2</sup>.

## 6. Обтекание ветром различных поперечных профилей полотна

Нулевые профили являются хорошо продуваемыми профилями. Однако эта хорошая продуваемость может быть искусственно испорчена.

При спокойных снегопадах на полотне нулевого профиля ложится такой же слой снега, как и в окружающем поле; если слой выпавшего снега не толст, он не создаст

значительного препятствия движению и быстро уплотняется проезжающими экипажами. Если при



очистке снимаемый с пути Фиг. 37. Отложение снега на нулевом профиле. снег откладывается вали-

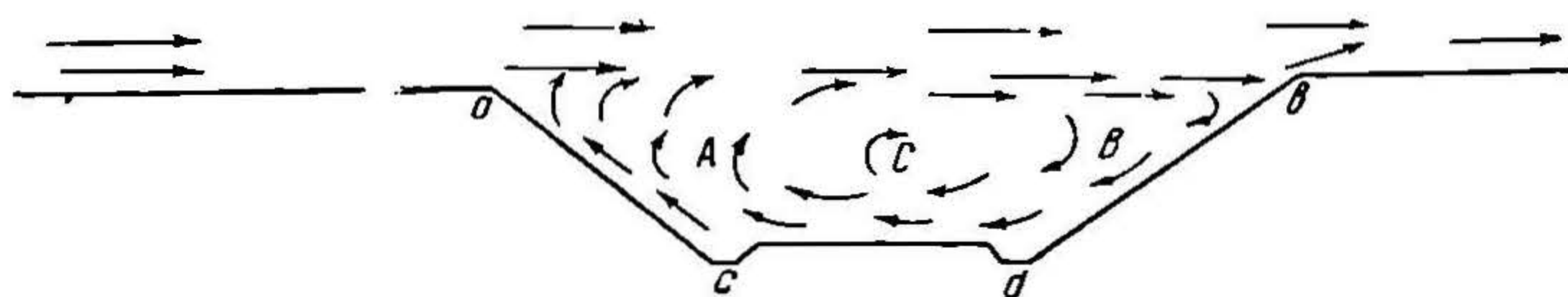
ками с боков дороги, то этим искусственно создается некоторое препятствие воздушному потоку и следовательно ухудшается продуваемость полотна. Валик снега вызывает образование перед собой и за собой некоторой области анемометрической тени, т. е. завихрений и ослаблений скорости ветра, в которой и происходит отложение переносимого снега при последующей метели или поземке. Эти отложения занимают полотно частично или полностью в зависимости от высоты валиков и ширины полотна (фиг. 37). Это может потребовать новой очистки полотна, в результате которой валики могут увеличиваться и при следующем явлении переноса снега вызовут еще большее отложение его на полотне. Таким образом хорошо продуваемый профиль искусственно



превращается в заносимый, т. е. требующий постоянного надзора и систематической борьбы со снегом.

Рассмотрим аэродинамическую картину прохождения воздушного потока через выемку средней глубины 2 м и больше (фиг. 38). Подходящий к урезу выемки *a* с поперечными скоростями воздушный поток проходит над полостью выемки на уровне уреза, почти не изменяя своей скорости. Лишь над второй половиной выемки происходит некоторое расширение потока вниз, вследствие чего нижняя часть потока ударяет в верхний край противоположного откоса. При этом некоторая часть потока поворачивает вниз по откосу *bd* в виде слабого тока воздуха, а основная масса горизонтального потока проходит за урез *b*.

В результате в полости выемки под горизонтальным потоком создается постоянное вихревое движение воздуха, имеющее над полотном направление, обратное поперечному ветру, нисходящий ток воздуха в зоне *B* над вторым откосом *bd* и восходящий ток воздуха над первым откосом *ac*. Ось этого вихревого движения располагается примерно над серединой полотна — в зоне *C*. Скорости вихревого движения малы; по полевым исследованиям скорости обратного тока воздуха над полотном составляют 40—50% скорости на той же высоте в поле (для умеренных ветров).



Фиг. 38. Схема обтекания воздушным потоком профиля выемки средней глубины.

С отклонением направления ветра от поперечного к выемке общая картина существенно не меняется, но, кроме того, возникают продольные течения, захватывающие полость выемки над полотном и откосом *bd*; скорость этих продольных течений постепенно возрастает. При ветрах, близких к продольным, еще отклоняющихся от оси пути на угол приблизительно  $20^\circ$ , уже все сечение выемки занято продольным течением воздуха. Скорости течения повидимому почти не отличаются от поперечных, и только у первого откоса остается небольшая зона завихрений и малых скоростей, которая должна исчезать при ветрах продольных и очень близких к ним.

Установив таким образом аэродинамическую картину прохождения ветра через выемку средних глубин (от 2 до 8 м глубины), посмотрим, что происходит, когда через выемку проходит снеговетровый поток. Подавляющая масса снежинок, передвигающихся по поверхности и в самом нижнем слое воздуха, пройдя через первый урез выемки и потеряв подстилающую поверхность (по которой они двигаются), под влиянием своей тяжести выпадают из потока в область слабого восходящего тока воздуха и завихрений над первым откосом и ложатся на откос выемки, образуя первые отложения в верхней части откоса. Ветровой поток таким образом теряет подавляющую часть переносимого снега уже над первым откосом. В нем остаются только снежинки с малыми гидравлическими скоростями; они выпадают из потока на меньшем или большем расстоянии от первого уреза. Отложение снега в верхней части откоса постепенно



растет, пополняемое новыми снежинками, и распространяется понемногу на весь откос, кювет, а затем и на полотно. В выемке образуется снежный занос. При длительном переносе снега все сечение выемки заполняется снегом.

При одинаковой силе переноса снега быстрее всего выемки заносятся при поперечном ветре. В выемках на кривых нет полного продувания полотна на всей длине выемки продольным ветром: в части ее, расположенной под углом к направлению ветра, происходит обтекание косым ветром. В этой части образуются отложения снега. Чем меньше радиус кривизны, тем резче проявляется различие обтекания разных частей (по длине) кривой выемки.

Существенный интерес представляет мелкая выемка, глубиной меньше 1 м. Обтекание этих выемок происходит своеобразно. Вследствие малой их глубины, полевой воздушный поток, срываясь с уреза, проходит очень близко к полотну. Вихревое течение воздуха с обратным над полотном направлением под этим потоком не образуется: над полотном и откосами ветер сохраняет полевое направление, но с уменьшенными скоростями. Маленькие вихревые образования наблюдаются лишь в кюветах.

Таким образом картина обтекания ветром мелкой выемки принципиально отличается от обтекания выемок средних глубин. Вследствие уменьшения скорости ветра над полотном, приносимый ветром снег отлагается на откосах и полотне, но повидимому не полностью. Вследствие малой площади сечения, мелкие выемки в случае отложения снега заносятся быстро. Однако тот факт, что в мелких выемках нет обратного течения воздуха над полотном, дает возможность предполагать, что можно добиться полного продувания полотна в этих выемках, т. е. сохранения над полотном полевых скоростей ветра, путем расширения выемки поверху, т. е. приданием откосам большей пологости, примерно от 1 : 6 до 1 : 8. Кроме того обязательным условием является отсутствие вблизи выемки каких-либо препятствий, уменьшающих скорость ветра, как то: бурьяна, кустов, строений, деревьев, куч земли или снега, валиков снега после уборки его с полотна и т. п.

Большая пологость выемки увеличивает скорости ветра на полотне. На Симплонской ж. д. в Швейцарии эта мера была испытана и дала хорошие результаты.

Можно установить некоторые основные положения, которые необходимо учитывать при трассировании новой дороги в открытых местностях, где выпадение снега при сильных ветрах, а следовательно метели и поземки являются обычными в зимний сезон. Учет этих требований значительно облегчит зимнее содержание дороги и уменьшит эксплуатационные расходы на снегоборьбу.

Положения эти сводятся к следующему:

1. В открытых местах, где можно ожидать значительного переноса снега, следует вообще избегать устройства выемок, предпочтительно вести трассу хотя бы небольшими насыпями, немного превышающими обычную максимальную высоту снежного покрова в этих районах.

2. В случае необходимости устройства выемок их следует делать прямыми.

3. Ориентировать выемки следует вдоль преобладающего направле-



ния метелевых ветров, для обеспечения преимущественно продольного продувания.

Возможность выполнения этих требований определяется экономическими условиями строительства и дальнейшей эксплуатации дороги.

## 7. Аэродинамика снегозащит

а) *Задачи и методы защиты полотна от снега.* Для защиты дороги от снежных отложений надо изменить режим ветра над дорогой и окружающей полосой в выгодном для нас направлении.

Это изменение режима ветра достигается устройством около заносимых участков дороги специальных приспособлений, называемых снегозащитами. По своему воздействию на ветер снегозащиты можно разделить на две принципиально резко различных группы. Снегозащиты одной группы являются более или менее крупным препятствием воздушному потоку и поэтому создают около себя широкую зону ослабления скорости ветра и завихрений. Этим вызывается интенсивное отложение переносимого ветром снега и образование снежных валов около защит. Следовательно снег задерживается, не доходя до полотна дороги. Таким образом зона слабых скоростей и завихрений над полотном хотя и остается, но теряет свое вредное значение. Такие способы снегозащиты называются *п а с с и в н ы м и*. К ним относятся постоянные высокие заборы — сплошные и решетчатые, переносные щиты, снеговые стенки и живые насаждения — древесные и кустарниковые.

Другой метод снегозащиты — *а к т и в н ы й* — преследует как раз противоположную задачу — не допустить вредного ослабления скорости над полотном и в прилегающей полосе, воспрепятствовав тем самым осадению снега. Таким образом защита активного метода должна так воздействовать на режим ветра над полотном, чтобы использовать живую силу ветра для выноса снега с полотна дороги.

б) *Учет климатических и орографических условий.* В разных климатических районах СССР условия зимы, как известно, очень различны. В основном это различие обуславливается большей или меньшей продолжительностью зимы, количеством выпадающего снега, частотой и продолжительностью метелей и поземков, силой ветров при этих явлениях, температурным режимом. Наконец условия местности также оказывают, как мы видели, существенное влияние на заносимость дороги. Поэтому дороги различных районов СССР находятся в очень разнообразных условиях, и невозможно повсеместно применять одинаковую защиту дорог от заноса. Продолжительность зимы и количество переносимого ветром за зиму снега уже требуют разнообразия в мощности защит, т. е. в способности их удерживать около себя большее или меньшее количество снега. Мощность защит пассивного метода зависит от их высоты, а для живых защит — и от ширины полосы. Следствием этого является и расстояние защиты от полотна дороги. Эти элементы снегозащит широко варьируются в разных районах СССР.

Точно так же применение активных методов снегоборьбы легче и надежнее в тех районах, где ветры вообще сильнее, оттепели редки, подвижность снега повышепа.

Различие климатических особенностей СССР требует применения

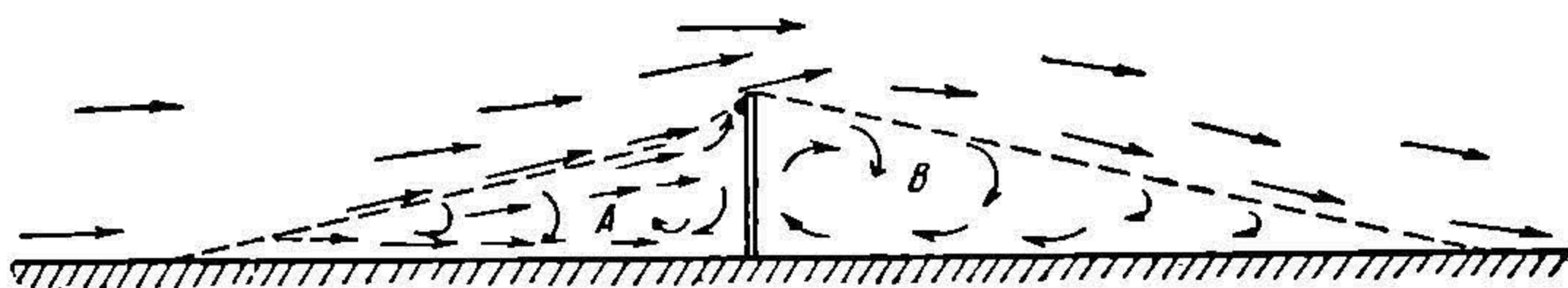


разнообразных типов и видов снегозащит, наиболее отвечающих по своему воздействию на снеговетровый поток климатическим свойствам данного района.

Поэтому районирование снегозащит на сети дорог СССР в соответствии с климатическими характеристиками районов является одной из основных задач физики снегоборьбы.

Для правильного выбора и постановки наиболее рациональной защиты необходимо учесть как климатические особенности района, так и индивидуальные условия работы ветра (аэродинамику и физику снеговетрового потока) в данном месте и на основании этого определить характер и степень необходимого аэродинамического воздействия на снеговетровый поток в разных частях заносимого места, чтобы обеспечить чистоту пути от снега.

в) *Аэродинамика сплошных заборов.* Направление воздушного потока будем предполагать нормальным к протяжению защиты. Сплошной забор, достаточно длинный по протяжению, поставленный вдоль дороги на неко-

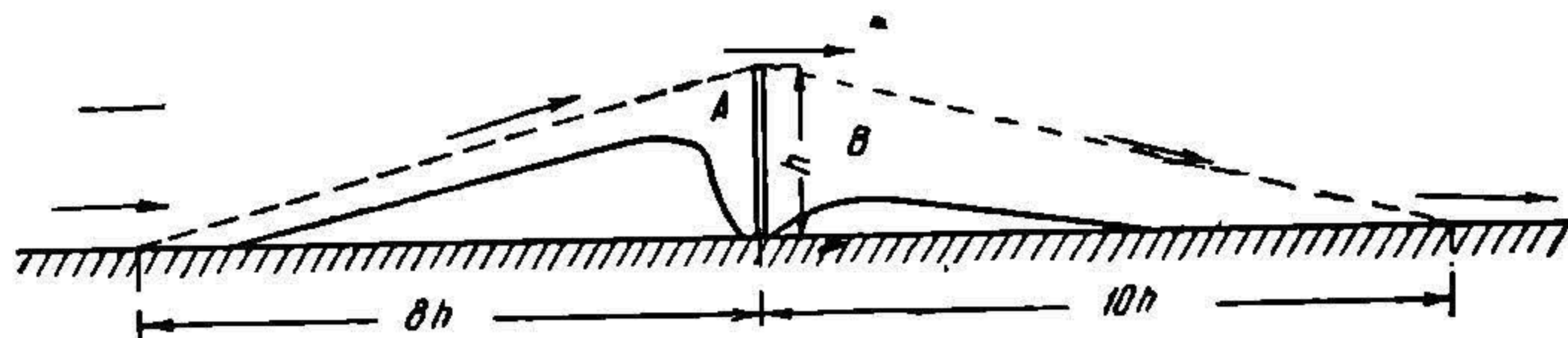


Фиг. 39. Схема обтекания ветром сплошного забора.

тором расстоянии от нее, является препятствием, плохо проницаемым для снеговетрового потока и преграждающим путь нижним слоям воздушного потока. Вследствие этой задержки уже на некотором расстоянии перед забором, примерно в 8—10 раз большем его высоты, скорость ветра в нижних слоях начинает ослабевать. В зоне *A* перед забором (фиг. 39) образуется область завихрений, значительно уменьшенных скоростей ветра и несколько повышенного давления воздуха. Над этой зоной и над верхом забора проходит воздушный поток, поджатый кверху, с увеличенными скоростями сравнительно со скоростями на той же высоте далеко перед забором. На верхней кромке забора происходит срыв струй, а небольшая ветвь потока заворачивает вниз по забору (с передней стороны). За забором нижняя часть потока лишь постепенно приближается к поверхности земли. Под сильным потоком в зоне *B* за забором образуется вихревое движение воздуха, ограниченное линией срыва струи; в нижнем слое скорости направлены обратно — к забору. Полевая скорость ветра в нижнем слое восстанавливается на расстоянии примерно 10 высот забора. Снежинки в большинстве своем отлагаются в зоне *A* перед забором, вследствие ослабления скорости ветра. Одновременно в зоне *B* за забором отлагаются снежинки, перенесенные ветром через забор. Более крупные, тяжелые снежинки, передвигающиеся по поверхности или в самых нижних слоях воздуха, естественно оседают перед забором; в зоне *B* выпадают более легкие, мелкие частицы. Поэтому отложение снега перед забором растет гораздо интенсивнее, чем за забором, и чем выше забор, тем резче эта разница (фиг. 40). Однако по мере роста отложений перед забором эта разница уменьшается.



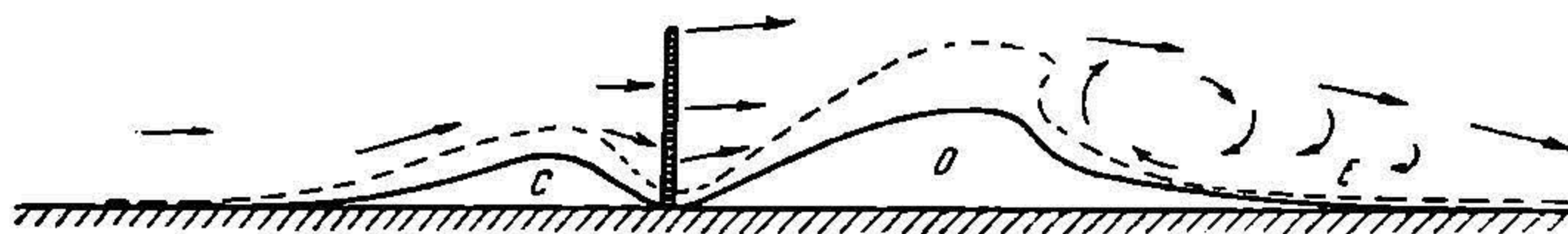
Работа сплошного забора имеет предел, т. е. около него может отложиться лишь определенная кубатура снега, зависящая от высоты забора. Если в течение зимы количество перенесенного снега окажется больше, то выемка к концу зимы будет занесена. Эта предельная кубатура может быть приблизительно подсчитана. Принимая зоны *A* и *B* за прямоугольные треугольники с высотой *h* и основанием для *A* приблизительно  $8h$ , а для *B* —  $10h$ , получаем площадь сечения снеговых отложений  $S = \frac{1}{2}(8+10)h$ . Зная приблизительно максимальную кубатуру снеговых



Фиг. 40. Схема снежных отложений у сплошного забора.

отложений в данном районе, можно рассчитать высоту забора, обеспечивающую удержание около него всего снега за зимний сезон. Однако нельзя допускать заполнения снегом всей зоны *B*, поэтому полученную таким расчетом высоту надо несколько увеличить, примерно на 1 м, чтобы в зоне действия забора оставался значительный запас места на случай более метелевой и продолжительной зимы.

г) *Аэродинамика решетчатого забора*. Основное отличие решетчатого забора от сплошного заключается в том, что он свободно проницаем для воздушных масс. Однако как бы велик ни был процент площади просве-



Фиг. 41. Схема снежных отложений у решетчатого забора.

тов в решетчатом заборе, все же он является препятствием для воздушного потока. Поэтому на некотором расстоянии перед забором скорости ветра уменьшаются, но зона ослабления скоростей выражена менее резко, чем перед сплошным забором. Над забором получается некоторое сгущение струй, усиление скорости ветра и срыв струи с верхней кромки. Сквозь просветы забора воздух проходит как сквозь всякое суженное сечение — с увеличенной скоростью. Но уже на небольшом расстоянии за забором скорость эта значительно уменьшается вследствие расширения струй. Кроме того прохождение сквозь решетку создает в потоке множество мелких завихрений, на которые затрачивается часть энергии потока. Эти причины обуславливают образование за решетчатым забором широкой полосы слабых скоростей и мелких завихрений (зона *D*, фиг. 41). Минимального значения скорости ветра достигают на значительном расстоянии за забором, например по исследованиям Н. А. Карунина для забора высотой в 4,3 м наибольшее ослабление ветра замечается на расстоянии 15—20 м за забором, т. е. на расстоянии 4—5 высот. Затем скорости постепенно возрастают, и наконец восстанавливается полевая скорость



ветра. Чем гуще забор, т. е. чем меньший процент его площади приходится на просветы, тем резче выражается ослабление скорости как перед забором, так особенно за забором.

Переносимый ветром снег, попадая в область ослабления скорости потока перед забором, частично отлагается в этой полосе. Конечно в первую очередь отлагаются наиболее тяжелые частицы, для которых даже небольшое ослабление скорости является уже критическим. Большая часть снега проходит вместе с воздухом сквозь решетку забора. Так как в просветах и в непосредственной близости перед и за решеткой скорости ветра повышены, то отложений снега у самого забора не образуется: снег отлагается на некотором расстоянии за решеткой, где уменьшение скорости уже значительно. Отложение располагается широкой полосой вследствие разнообразного веса снежинок. По мере роста снеговых отложений перед и за забором воздушный поток над ними принужден несколько сгущаться, что вызывает некоторое увеличение его скорости. В результате вал суживается с высотой и имеет форму, изображенную на фиг. 41 сплошной линией. Постепенно понижающееся отложение за валом  $E$  растет очень медленно. Дальнейшее отложение снега вызывает увеличение высоты вала без заметного увеличения его в ширину. При достаточно большой высоте главного вала за забором, с его подветренной стороны (обращенной к дороге) начинает образовываться вихрь с горизонтальной осью. Вследствие этого у вала нарастает более или менее развитый козырек (фиг. 41 — пунктирный контур). Когда главный вал за забором достигнет высоты забора и начинает превышать ее, наступает резкий перелом в работе решетчатого забора. В этот момент верхушка вала соприкасается с сильным потоком воздуха, имеющим скорость немного повышенную сравнительно со скоростью на той же высоте над ровным полем (в результате сжатия потока под влиянием всей системы забора и снеговых валов около него). Вследствие этого прекращается отложение снега на валу: поднимающийся по контуру главного вала снег сдувается ветром с его вершины и проходит за козырек. Здесь, в области резко пониженных скоростей и завихрений, снег отлагается, расширяя вал.

Таким образом вал начинает увеличиваться уже не в высоту, а в ширину, постепенно приближаясь к полотну дороги. С этого момента решетчатый забор считается отработавшим, и начинается второй период его работы. К этому моменту отложения перед забором достигают примерно половины его высоты; нижняя часть забора обычно уже несколько засыпана снегом. По мере новых отложений снега поверхность вала, обращенная к пути, становится более пологой, высота вала с приближением к дороге уменьшается, «шлейф отложения» растягивается и распространяется в выемку. Наконец снег заполняет всю зону анемометрической тени за валом, по поверхности отложения непосредственно проходит поток с большой скоростью, и дальнейшего оседания снега уже не происходит: весь снег свободно проходит через полностью заработанный забор и попадает в выемку. Таким образом наступает предел второго периода работы решетчатого забора.

Принимая в первом приближении снеговое отложение у почти отработавшего забора за трехгранную призму с высотой  $h$ , равной высоте забора, и с основанием в  $p$  высот, получаем площадь сечения этой призмы,



т. е. предельного снегового отложения  $S = \frac{1}{2}ph^2$ . Эта площадь отложения является величиной постоянной для данного забора.

Расположение планок — вертикальное или горизонтальное — существенного влияния на воздушный поток и следовательно на отложение снега повидимому не оказывает. Абсолютная ширина просветов несомненно играет известную роль, хотя пока определенных числовых значений не установлено. Во всяком случае, как показали опыты инж. Долгова, широкие просветы (15 см) не выгодны, так как при них значительная часть снега уходит из-под влияния забора: повидимому ослабление скорости ветра получается недостаточное. Аэродинамически этот вопрос не исследован. С другой стороны, исследования на Воденяпинской опытной станции решетчатых щитов с различной шириной планок в пределах от 6 до 13 см с просветами соответственно от 5 до 12 см существенной разницы в форме и площадях снеговых отложений не дали. Наконец исследования решетчатых щитов в Сибири приводят повидимому к заключению, что в тех климатических условиях (сухой, подвижной снег) выгоднее применять меньшие ширины планок и просветов. Так как решетчатые щиты являются по существу решетчатыми заборами малой высоты, представляется естественным перенести эти заключения и на высокие заборы. Несомненно в ширине просветов есть какой-то предел, превышение которого оказывается аэродинамически невыгодным.

Ответить на вопрос, какой же из высоких заборов лучше — сплошной или решетчатый, — нет возможности: оба эти типа являются надежными способами снегозащиты; их воздействие на ветер, как мы видели, различно, поэтому различно и отложение снега около них. Решетчатый забор требует достаточно широкой полосы до дороги — для отложения главного вала; вследствие более сложной конфигурации вала, решетчатый забор повидимому удерживает несколько больше снега, чем сплошной забор той же высоты, следовательно может работать дольше. Зато сплошной забор при достаточной высоте в течение всей зимы отлагает снег главным образом с полевой стороны и в значительно меньшей степени — со стороны пути (первый период его работы); поэтому он может быть поставлен значительно ближе к дороге. Устройство сплошного забора обходится дороже, так как при одинаковой высоте требует больше материала и более прочной конструкции, ввиду того, что испытывает большее давление ветра. Это является одной из причин гораздо большего распространения решетчатых высоких заборов.

При расчете высоты заборов приходится руководствоваться материалами прошлых лет о максимальной высоте снеговых валов у линии переносных щитов в данном месте или в соседних аналогичных местах. Определенную таким образом высоту для решетчатого забора следует увеличить на 0,5—1 м на случай более снежной и продолжительной зимы, особенно, если имеющиеся данные относятся к небольшому числу лет.

В результате своих продолжительных исследований работы сплошных и решетчатых заборов инж. Н. Е. Долгов дает следующую зависимость между элементами для сплошного забора и решетчатого — из досок шириной в 21—22 см с просветом в 5—5,5 см (площадь просветов — 20%) и в 7—7,5 см (площадь просветов — 25%). Надо не упускать из виду, что эта таблица не универсальна, а относится лишь к определен-



ному виду решотчатого забора и дана для южных районов; для сплошного забора она имеет в виду отложения с обеих сторон <sup>1</sup>.

Для решотчатого забора высотой в 4,3 м при 50% площади просветов (ширина планки и просветов равна 9 см) расстояние до бровки полотна в 40 м представляется вполне достаточным, дающим даже некоторый запас на переработку забора (по данным Воденяпинской опытной станции).

| Высота забора в м | Расстояние от защиты до бровки кювета (на нулевом месте) в м |                       |                       |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   | Сплошной забор                                               | Решотчатый 25% просв. | Решотчатый 20% просв. |
| 2                 | 24                                                           | 24                    | 18                    |
| 3                 | 26                                                           | 27                    | 22                    |
| 4                 | 32                                                           | 32                    | 28                    |
| 5                 | 35 <sup>2</sup>                                              | 36                    | 34                    |
| 6                 | 36 <sup>2</sup>                                              | 40                    | 38                    |

д) *Аэродинамика ряда переносных щитов.* Наиболее распространенным у нас в настоящее время является способ защиты заносимых мест решотчатыми переносными щитами. Эти щиты впервые были предложены инж. Б. А. Титовым в 1863 г. на М.-Нижегородской железной дороге. В восьмидесятых годах инж. М. И. Григоровским была разработана весьма остроумная система защиты пути этими щитами, которая постепенно получила всеобщее признание и распространение на всех русских железных дорогах, а в последнее время начала применяться в нужных случаях и на автогужевых дорогах.

Решотчатые переносные щиты делаются размером 2×2 м или меньшей высоты 1,5 м. Поставленные в ряд вдоль заносимого участка дороги и привязанные к тонким забитым в землю кольям, переносные щиты представляют собой решотчатый забор высотой в 2 м, с аэродинамическими свойствами которого мы уже знакомы. Период нормальной работы такого невысокого забора из щитов невелик: при сильной метели он может заработать в течение суток и даже меньше. Инж. Григоровский предложил, не дожидаясь полной зарботки щитов, переставлять их на образовавшийся снеговой вал (укрепляя их при этом на запасной комплект кольев, втыкаемых в вал, или ставя щиты прямо в снег). Этой перестановкой увеличивается высота защиты, следовательно увеличиваются зоны ослабленных скоростей и завихрений воздушного потока около щитов, и отложение снега продолжается (фиг. 42). За щитом растет новый вал, несколько смещенный к пути относительно первого. Перед тем как его вершина достигнет высоты верхней кромки щитового ряда, щиты снова переставляются на вал и снова работают почти полной своей высотой. Этим способом защиты мы оказываем на снеговой поток в общем такое же аэродинамическое воздействие, как и высоким решотчатым забором; при этом выгадываем в материале. Умелое маневрирование переносными щитами заключается в том, чтобы, возможно меньше приближая щитовой ряд к дороге, собрать высокий крутой вал,

<sup>1</sup> Долгов дает эту таблицу в саженьях; мы считаем возможным без существенной ошибки, ввиду приблизительности данных, перевести ее в метры, считая приблизительно 1 саж. = 2 м.

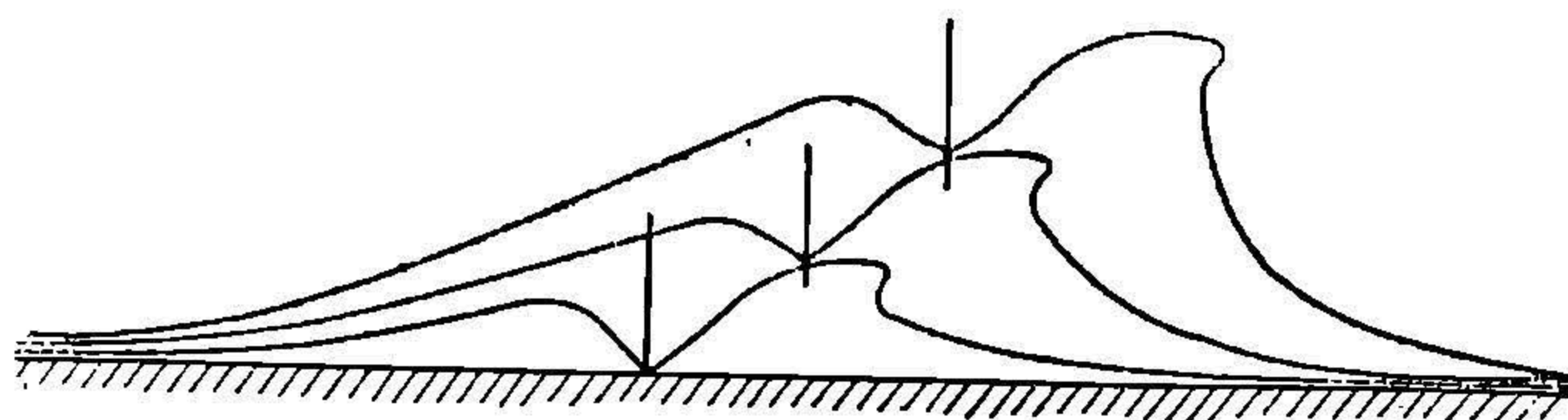
<sup>2</sup> Эти расстояния представляются преуменьшенными, правильнее было бы брать их несколько больше.



который сам по себе служит защитой от нового снега: за ним образуется большая зона устойчивого вихря с горизонтальной осью; в случае переработки щитового ряда в этой зоне может поместиться большое количество снега.

Несомненное экономическое преимущество переносных щитов перед высокими заборами заключается в их дешевизне. Для районов слабой заносимости щиты действительно являются удовлетворительными. Но в районе сильной заносимости этот способ не обеспечивает путь от возможности заносов как вследствие недостаточной прочности щитового ряда при очень сильных ветрах, так и вследствие сравнительной непродолжительности периодов нормальной работы щитов от одной перестановки до другой. Проведение же перестановок в условиях сильных метелей является крайне трудной работой, которую не всегда удается провести во-время и успешно, в результате чего имеют место заносы пути, особенно на дорогах юга и юго-востока СССР.

В соответствии с климатическими условиями и количеством переносимого за зиму снега, число перестановок щитов в течение зимы очень



Фиг. 42. Схема снежного вала у переносных решетчатых щитов.

различно в разных районах СССР. В степях юга и юго-востока европейской части СССР и в северном Казакстане встречается наибольшее число перестановок щитов — в зиму до 9—10 раз. В средней полосе европейской территории Союза 5—7 перестановок характеризуют уже сильно заносимые участки. На дорогах севера число перестановок щитов редко превышает 2—3.

Для получения правильного снегового вала, что очень существенно для быстроты и успешности перестановок, щитовой ряд должен по всей длине оказывать однородное воздействие на ветровой поток; для этого он должен отвечать следующим требованиям:

1. Щиты должны быть однородны с аэродинамической точки зрения, т. е. одинаковой высоты, одинакового процента площади просветов, в исправном состоянии (без поломанных или выпавших планок).

2. Щитовой ряд должен представлять собой правильную линию, параллельную оси дороги и расположенную на однородной высоте над поверхностью.

Первая постановка щитового ряда делается на расстоянии около 50 м от дороги; в районах же слабой заносимости, где число перестановок ограничивается 2—3, это расстояние может быть немного уменьшено, но не ближе 40 м.

Применительно к климатическим особенностям СССР Народным комиссариатом путей сообщения в последние годы предложены железным дорогам три стандартных типа переносных щитов. При однородной



длине в 2 м эти типы различаются высотой и процентом площади просветов, что обуславливает определенную степень воздействия на снеговатровый поток.

Тип I — высота 1,5 м, площадь просветов около 47%. Этот щит дает сравнительно пологий снеговой вал, растущий несколько замедленно (редкий щит). Этот тип рекомендуется для сильно заносимых районов юга и юго-востока, где метели бывают продолжительны и часто сопровождаются очень сильными ветрами. Перестановки 2-метровых щитов в этих условиях очень трудны, иногда почти невозможны; работа с 1,5-метровым щитом значительно легче, вследствие меньшей его парусности. Во избежание же более частых перестановок площадь просветов увеличена до 47%, вследствие чего вал растет медленнее и имеет более пологое очертание.

Тип II — высота 2 м, площадь просветов около 43%; это нормальный щит, наиболее распространенный на железных дорогах СССР. Он рекомендуется для дорог средней и северной полосы европейской территории Союза, для менее заносимых участков юга, для районов, где метели при очень сильных ветрах случаются редко. Густота этих щитов обеспечивает наиболее удобную крутизну откосов и нормальный рост вала, а 2-метровая высота — достаточную продолжительность работы щита.

Тип III — высота 1,5 м, площадь просветов около 37%; это густой щит, дающий более крутой и быстрее растущий вал. Он рекомендуется для районов, где снег отличается повышенной подвижностью, вследствие сухости и мелкости частиц. Обычные щиты (тип II) при сильных ветрах далеко не полностью удерживают такой снег, он просачивается в выемку. Требуется более резкое ослабление скорости ветра за щитом, что и достигается уменьшением процента площади просветов. Эти щиты рекомендуются главным образом дорогам степных районов Сибири.

При ветрах, дующих под углом к решетчатой защите, последняя оказывает на воздушный поток в общем такое же воздействие, как и при нормальных ветрах. Вследствие толщины планок процент площади просветов уменьшается по мере увеличения угла отклонения ветра.

Инж. Дубинский и лесовод-исследователь Палесский подметили аэродинамически интересный факт, что решетчатые защиты вызывают за собой еще большее отклонение от нормали ветров, дующих под углом к защите. При больших углах отклонения, т. е. очень косых ветрах, образуется воздушное течение вдоль защиты, и часть снега, вероятно значительная, уносится этим течением в поле, не проходя сквозь решетчатую защиту.

Постановка снеговых защит вообще не ухудшает продольного продувания выемок косыми и продольными ветрами, увеличивая высоту «коридора», образованного выемкой и защитами, по которому проходит сильное воздушное течение, проносящее снег.

Поэтому постановка косых рядов щитов между урезом выемки и основным рядом защит нежелательна, так как эти ряды создают препятствие продольному потоку и ослабляют его: в результате возможны снеговые отложения на полотне.

Иногда приходится прибегать, за неимением переносных щитов, к снеговым стенкам; они выкладываются из вырезанных из уплотненного



снега больших прямоугольных параллелепипедов так, что между соседними параллелепипедами остаются промежутки; поэтому вся стенка может быть улоблена по своим аэродинамическим свойствам невысокому, но довольно густому решетчатому забору (с просветами примерно в 25—30%). Схема прохождения воздушного потока через такие стенки и отложения снега около них близко подходят к разобранным уже схемам для решетчатого забора.

е) *Живые защиты*. Живые посадки, как способ защиты путей сообщения от снежных заносов, были предложены уже давно. Однако неизученность на первых порах их работы, неумение правильно расположить посадки относительно выемки и дать им надлежащую ширину в зависимости от количества собираемого зимой снега повлекли за собой много случаев неудачных посадок. В результате этот способ защиты вызвал недоверие к себе, что задержало его распространение на путях сообщений. Между тем, при правильном применении и необходимом уходе, этот способ является весьма надежным и экономически выгодным.

Известно, что у опушки леса скорость ветра вследствие встречаемых препятствий слабее, чем в поле, и быстро уменьшается по мере углубления в лес. Проф. Н. С. Нестерев в своих исследованиях показал, что в старом сосновом лесу с густым дубовым и орешниковым подлеском скорость ветра на расстоянии 34 м от опушки составляет 55—78%, на расстоянии 77 м от опушки составляет 23—27%, а на расстоянии 122 м только 7% начальной скорости в поле. Практически — это уже затишье. При выходе из леса скорость ветра постепенно восстанавливается и на некотором расстоянии, зависящем от высоты и густоты леса, достигает первоначальной полевой скорости. В результате такого воздействия на ветер у лесных опушек всегда образуются отложения снега; внутри же леса горизонтального перемещения снега нет.

Живые защиты можно разбить на две группы: живые изгороди и лесозащитные полосы. Живые изгороди представляют собою густые посадки в 1—2 ряда деревьев хвойных пород (обычно ель). Хорошая живая изгородь должна быть высока, очень густа, особенно — без поломки нижних ветвей, и равномерна по всему протяжению. При большой густоте она является малопроницаемой для ветра. Проф. Н. Н. Степанов считает, что по аэродинамическим свойствам хорошая живая изгородь в значительной степени может быть улоблена сплошному забору, т. е. отложения снега должны происходить преимущественно с полевой стороны. Несомненно, полной аналогии здесь нет, так как массы воздуха входят в толщу посадки, но, испытывая очень большое трение в густых ветвях, быстро теряют скорость до самых малых ее значений. По мере уменьшения густоты живая изгородь становится все более проницаема для ветра и снега и ее аэродинамические свойства ближе подходят к решетчатому забору, т. е. отложения снега происходят с обеих сторон и даже преимущественно со стороны пути.

Лесозащитные полосы представляют собой широкие многорядные посадки древесных и кустарниковых пород. Плотность их значительно меньше, чем плотность хорошей живой изгороди, поэтому они действуют на ветер как лес, т. е. воздушный поток проникает в посадку на значительную глубину, но вследствие большого трения о ветви быстро теряет скорость.



Для удержания снега главное значение имеет конечно нижняя часть посадки, в которой, при достаточной густоте растительности и ширине полосы, скорость ветра падает до полного затишья. В верхней части посадки, т. е. в верхушках кустарников и в древесных кронах, ветер испытывает меньшее сопротивление, вследствие их меньшей густоты. В то же время и скорость ветра на этой высоте вообще значительно больше, как мы знаем, чем в нижних слоях. Поэтому ослабление скорости ветра в этом слое посадки значительно меньше, чем в нижнем, и недостаточно для оседания снега. С аэродинамической стороны представляется выгодным вводить в посадку лиственные древесные породы, хотя они зимой и теряют листву, так как ослабление скорости в верхнем слое потока способствует большему ослаблению ее внизу.

Вследствие сильного затухания ветра в нижней части посадки, снег отлагается внутри посадки и заполняет ее до некоторой высоты. Отложение начинается с опушки посадки и распространяется в глубь ее. Обращенный к опушке откос снегового отложения обычно более пологий, а подветренный откос гораздо круче. Ширина полосы должна быть такова, чтобы весь приносимый ветром в течение зимы снег поместился бы внутри посадки. Это вполне обеспечивает полотно дороги от снежных отложений.

От лесозащитной полосы к пути тянется на некоторую ширину зона анемометрической тени, в которой тоже может отложиться некоторое количество снега.

Для разных по заносимости районов и участков дорог ширина лесозащитных полос должна быть различна. Проф. Н. Н. Степанов приводит следующие данные необходимой ширины полос в зависимости от площади сечения снегового вала.

Проф. Н. Н. Степанов приводит также эмпирическую формулу, по которой с первым приближением можно рассчитать ширину посадки:

$$L = A \cdot \sqrt{P},$$

где  $P$  — площадь максимального снегового вала в данном месте за прошлые годы,  $A$  — опытный коэффициент, имеющий значения от 4 до 6, в зависимости от места. При ограждении глубоких выемок берется низшее значение  $A$ , при ограждении мелких выемок — высшее значение. Однако формула эта далеко еще не проверена.

По своим аэродинамическим свойствам два вида живых снегозащит резко различаются друг от друга. Лесозащитные полосы в этом отношении занимают особое место среди остальных пассивных защит.

При достаточной ширине, густоте и высоте полосы в ней царит на некотором расстоянии от опушки почти полное затишье. Следовательно передвижения снега нет. Полоса постепенно набухает снегом. Хорошо выращенная посадка достаточной ширины является надежным способом

| Площадь сечения снегового вала в м <sup>2</sup> | Необходимая ширина посадки в м |                           |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
|                                                 | По данным проф. Карейши        | По данным проф. Высоцкого |
| 50                                              | 30                             | 27                        |
| 100                                             | 45                             | 39                        |
| 150                                             | 56                             | 50                        |
| 200                                             | 66                             | 58                        |
| 250                                             | 74                             | 64                        |
| 300                                             | —                              | 71                        |







Н. Т. Швейковский математически разработал теорию работы надоткосных щитов и вычислил зависимость скорости выходящей из-под щита струи от размера, способа установки и наклона щита. Опытные исследования надоткосных щитов были организованы Институтом пути НКПС на нескольких выемках на разных дорогах и местами дали вполне хорошие результаты. Рассмотрим аэродинамическое действие надоткосных щитов, поставленных по способу инж. И. В. Смирнова. Как видно на фиг. 43, сплошной забор, укрепленный под большим углом к горизонту на столбах на некоторой высоте над откосом выемки, действует как экран, направляя ветровой поток вниз по откосу. При правильно заданных ширине щитов и положении их относительно уреза выемки (т. е. расстояние нижней кромки от уреза, возвышение над ним, угол наклона), наклонные надоткосные щиты не вызывают заметного ослабления скорости воздушного потока, проходящего по контуру выемки. А если поток не испытывает резких изменений направления и ослабления скорости и если структура его не нарушается значительной завихренностью, то и отложений снега из потока не происходит: поступающие с потоком воздуха в выемку массы снега проносятся через полотно, поднимаются на противоположный откос и уносятся в поле. Над сильным потоком воздуха, проходящим по контуру выемки, образуется область завихрений. Выше вихревой зоны проходит другая ветвь сильного потока воздуха, перекидываемая на противоположный откос. При недостаточной ширине щитов или неправильном их положении скорости потока на полотне и на откосах уменьшаются, что конечно влечет оседание частиц снега в выемке и постепенное образование заноса. Огромное практическое удобство этого метода заключается в том, что чем сильнее ветер, тем надежнее работа надоткосных щитов. Поэтому в местах сильно заносимых, где часты сильные и продолжительные метели и приходится производить много перестановок переносных щитов, активный способ, несмотря на относительно высокую стоимость при постройке, повидимому является рентабельным. Менее надежна работа надоткосных щитов при слабых ветрах, вызывающих слабый перенос снега: в этом случае малейшее ослабление скорости потока по контуру выемки уже может сопровождаться оседанием снега. Но количество переносимого снега при слабых ветрах незначительно, эти отложения растут очень медленно и могут быть своевременно ликвидированы. В настоящее время этот метод еще не вышел из стадии опытов.

Слабым местом надоткосных щитов пока являются косые ветры, при которых путь потока по контуру выемки очень удлинен, и поток теряет свою скорость, а также сырой липкий снег при температурах, близких к нулю, который при малейшем ослаблении скорости ветра оседает и отложение быстро разрастается. Недостаточно выяснен еще и способ установки надоткосных щитов на концах выемок.

Во всяком случае устранение этих дефектов принципиально возможно, и это дело дальнейших опытов.

Для успешного применения активных методов большое значение имеет хорошая подвижность снежинок, а это в значительной мере зависит от климатических условий, именно от устойчивых низких температур и отсутствия оттепелей зимой. Наоборот, частые повышения температуры до слабых морозов или даже оттепели при прохождении цикло-



нов сильно уменьшают подвижность снежинок — они делаются влажными, липкими, задерживаются при малейшем ослаблении ветра. Кроме того имеет большое значение устойчивость преобладающих ветров. Поэтому в западной половине европейской территории Союза, где метели и поземки носят характер большей частью циклонический, т. е. вызваны прохождением циклонических систем и фронтов и сопровождаются сравнительно высокими температурами, активные методы снегоборьбы дают часто неудовлетворительные результаты, именно вследствие плохой подвижности снега и изменчивости направлений ветров.

Наоборот, на востоке европейской части Союза и в Западной Сибири явления переноса снега обычно проходят при низкой температуре с устойчивыми ветрами; подвижность снега вследствие этого высокая. Активные методы снегоборьбы дают в этих районах хорошие результаты.

Разработка активного метода защиты выемок надоткосными щитами имеет огромное принципиальное значение: естественный аэродинамический режим ветра в выемке, сохраняющийся при любом пассивном методе защиты, в данном случае коренным образом нарушен и заменен противоположным режимом. Таким образом вредная работа ветра — перенос и осаднение снега — превращена в полезную для нас работу продувания выемки, и как раз в той области, где на парализование вредной работы ветра всегда затрачивались огромные усилия и средства.

## 8. Районирование типов снегозащит

Рациональная снегозащита должна соответствовать как климатическим условиям района, так и индивидуальным особенностям аэродинамического взаимодействия между снеговетровым потоком и данным защищаемым местом.

На дорогах лесной зоны севера, запада и частью центра европейской территории Союза мы встречаем явления переноса преимущественно в виде общих метелей, сравнительно непродолжительных, сопровождающихся ветрами преимущественно средних скоростей и часто значительными повышениями температуры. Отсутствие обширных степных пространств мешает сильному развитию переноса поземкового снега. Количество переноса и за отдельные явления, и за весь, хотя и продолжительный, зимний период оказывается сравнительно небольшим. Климатологические свойства снега — преимущественно тяжелый, липкий, плохоподвижный снег, легко задерживающийся при ослаблении ветра. На карте заносимости железных дорог, составленной Н. С. Муретовым, в этих районах отмечена преимущественно слабая или средняя заносимость. Наиболее подходящими в этих районах являются пассивные методы снегозащиты, в виде живых изгородей или нешироких лесозащитных полос. При отсутствии живых защит решетчатые переносные щиты вполне ограждают дорогу от заносов. За зиму обычно приходится делать 2—3 перестановки щитов.

В средних районах европейской территории Союза — в полосе лесостепи — довольно обширные открытые пространства встречаются уже часто. Помимо метелей в этих районах довольно часты и поземки, связанные с антициклональной погодой, следовательно при достаточно подвижном снеге. Продолжительность явлений переноса иногда бывает



значительна, особенно при продвижении на восток. На карте заносимости дорог в этих районах преобладают отметки средней и часто сильной заносимости. В этих районах число перестановок переносных щитов обычно 3—4, во многих местах возрастает до 5—6, случается и больше. Здесь переносные щиты не всегда оказываются действительным способом снегозащиты. Климатические и почвенные условия вполне подходящи для широкого развития лесозащитных древесно-кустарниковых полос; этот тип защиты со временем вытеснит в этих районах другие методы защиты. До разведения же посадок, в наиболее заносимых местах, рационально применять высокие решетчатые заборы, так как своевременность перестановок щитов не всегда может быть обеспечена.

В южной полосе мы встречаем очень разнообразный характер явлений переноса: метели при обильном выпадении снега и сильных ветрах, связанные с прорывами южных циклонов, частые оттепели, а с другой стороны — продолжительные поземки при низких температурах и устойчивых сильных ветрах на периферии отрога сибирского антициклона. Обширные степные пространства обеспечивают огромные снегосборные бассейны. На главных водоразделах явления переноса снега бывают очень продолжительны и достигают большой силы. В этих районах метод переносных щитов явно несостоятелен. Здесь нужны более надежные методы: широкие лесозащитные полосы могут обеспечить дорогу от заносов и являются наиболее подходящим способом. Точно так же вполне подходят высокие решетчатые заборы, а в некоторых местах, где это диктуется местными условиями, и сплошные заборы.

Активные методы были бы вполне подходящи в случаях поземков и метелей антициклонального типа; но менее подходят при циклонических метелях с их повышающейся температурой и переменным направлением ветра.

По мере удаления на восток рельеф сглаживается, характер зимы становится более устойчивым; продолжительность метелей и поземков возрастает, подвижность снега повышается. В общем условия снегоборьбы становятся более суровыми. Вместе с тем почвенные и климатические условия на юго-востоке неблагоприятствуют успешному разведению лесозащитных полос. Ставить этот надежный тип снегозащит как основной — уже не приходится. В местах сильной заносимости правильнее базироваться на высоких решетчатых заборах, причем вследствие высокой подвижности снега процент площади просветов выгодно уменьшить (25—33%).

Успешно могут применяться активные методы снегоборьбы. В восточных районах между Волгой и Уралом и на Урале, где почвенные условия допускают развитие лесозащитных посадок, желательно распространение этого метода, с очень широкими полосами (70—100 м). Во всем этом обширном районе переносные щиты ненадежны и их постепенно необходимо заменить перечисленными выше типами снегозащиты.

На дорогах южных районов Западной Сибири и северной половины Казакстана условия снегоборьбы также трудны; огромные открытые пространства и продолжительные сильнейшие ветры вызывают мощный перенос снега, чрезвычайно подвижного. Ветры отличаются большой устойчивостью направлений (тип явлений переноса преимущественно антициклональный). Это обстоятельство очень благоприятствует распростра-



нению активных методов снегоборьбы. Опыты на Омской железной дороге с активными методами дали прекрасные результаты. Подходящим способом являются высокие заборы с малым процентом площади просветов (20—25); высота их часто требуется очень большая — до 8 м. В условиях более северных и восточных — лесистых районов Сибири при большой подвижности снега вследствие низких температур все же очень больших количеств переноса не должно быть из-за обычно небольших размеров снегосборных бассейнов. В этих районах снегоборьба значительно легче; почвенно-климатические условия допускают широкое распространение живых посадок, которые и могут являться основным методом снегозащиты.

В центральных районах Сибири количество снеговых осадков очень значительно, но ввиду лесистости местности снег ложится на плотно ровным рыхлым слоем, и снегоборьба должна развиваться главным образом в направлении усовершенствования расчистки и уборки снега с полотна.

Этими общими почвенно-климатическими соображениями можно руководствоваться при определении в первом приближении подходящих способов снегозащиты. В настоящее время в этих вопросах приходится базироваться исключительно на опыте, накопленном железными дорогами. Развитие этого дела на автогужевом транспорте должно в ближайшие годы дать новые материалы, особенно в отношении областей, для которых сейчас их нет за отсутствием в этих районах железнодорожных линий. Решающими соображениями при районировании способов снегоборьбы в конечном итоге все же являются соображения экономическо-эксплуатационного характера — стоимость строительных материалов, стоимость защитных устройств, акклиматизации подходящих древесных пород и, наконец, густота населения и стоимость необходимой рабочей силы.



## ПУЧИНЫ НА ДОРОГАХ

Явление пучинообразования обусловливается замерзанием и размерзанием воды в почве. Рассмотрим поэтому предварительно некоторые свойства почво-грунтов и процесс их перехода через  $0^{\circ}$

### I. Механический состав почво-грунтов

Наравне с климатом (а может быть и в большей степени) важна для дорожного дела и почва (или грунт)<sup>1</sup>, которая является основанием для всех дорог, а для грунтовых и материалом рабочей части полотна. Все искусство постройки и содержания грунтовых дорог обусловлено техникой постройки и содержания дороги и умелым сочетанием свойств почво-грунтов с условиями климата; то же нужно сказать и про устройство основания для усовершенствованных дорог. Эта истина вошла в практику американского дорожного строительства и завоевала себе положение в советской практике. В настоящее время при постройке дорог принимается во внимание механический или гранулометрический состав почво-грунтов и их физические свойства, петрографический же и химический составы остаются пока на втором плане. Несомненно, что с дальнейшим развитием дела изучения почво-грунтов в дорожных целях будут учитываться и эти свойства.

Изучение же физических и механических свойств грунтов показало, что изменение указанных свойств прежде всего зависит от содержания в грунтах глинистых частиц и от соотношений между песчаными и пылеватыми частицами.

### 2. Вода в почво-грунтах

Вода в почво-грунтах, по последним исследованиям, находится в следующих видах.

1. Вода в форме пара — эта вода движется в почве, как газ из мест с большей упругостью пара в места с меньшей упругостью.

2. Гигроскопическая вода — есть молекулы воды, адсорбированные<sup>2</sup> частицами почво-грунтов. При этом могут быть два случая: или

---

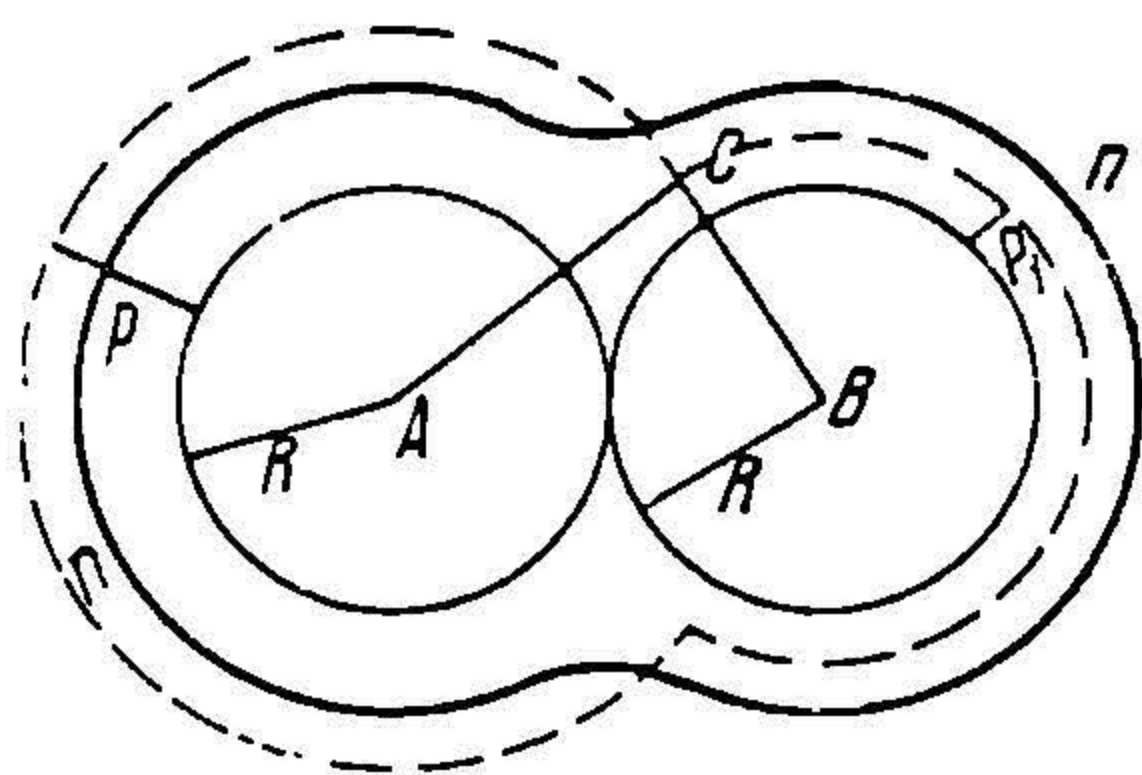
<sup>1</sup> Грунтами в дорожностроительном деле следует называть поверхностные горизонты различных горных пород, частью превращенные в почву, частью же являющиеся подпочвенными породами, образующими кору выветривания в ее целом. В тесном смысле под грунтом понимают подпочвенные горизонты горных пород, термином же почвы обозначают ближайшие к дневной поверхности горизонты горных пород, измененные совокупным влиянием механического, химического и биологического выветривания.

<sup>2</sup> Адсорбированными частицами газа называются частицы, сгущенные у поверхности твердого тела.



молекулы воды сплошь покрывают частицы почвы (возможно, в один слой водных молекул), — тогда мы имеем почву (или грунт) при полной или максимальной ее гигроскопичности; или молекулы воды покрывают частицы почвы не сплошь, а лишь частью — тогда мы имеем почву (или грунт) при неполной ее гигроскопичности. Эта категория воды не передвигается в почве как жидкость, а сначала переходит в пар и в таком виде перемещается в почве.

3. Пленочная вода. Эта вода облекает частицы почвы (или грунта) в виде пленки в несколько слоев молекул; эта категория воды находится под влиянием молекулярных сил сцепления между частицами почвы и молекулами воды. Она удерживается почвой с большой силой и не может быть удалена из нее центрофугой. Эта вода движется как жидкость из слоев, имеющих более толстые пленки, в слои с менее толстыми пленками, хотя бы и вопреки силе тяжести. Передвижение этого вида воды очень медленное.



Фиг. 44. Схема передвижения пленочной влаги. Пунктир — пленка до передвижения влаги; сплошная линия — после передвижения.

Гидростатическое давление в этой категории воды не передается. Влажность почвы (или грунта), соответствующая максимальной толщине пленки, называется максимальной молекулярной влагоемкостью.

Приводим схему передвижения воды в пленочном состоянии от более толстой пленки к более тонкой (фиг. 44).

4. Гравитационная вода — передвигается под влиянием силы тяжести. Гидростатическое давление в этом виде воды передается. Гравитационная вода подразделяется на следующие состояния:

а) капиллярная вода заполняет капилляры в почве (или грунте), имея связь с грунтовой водой; при испарении капиллярной воды она быстро восстанавливает свой уровень, пополняясь из грунтовой воды;

б) подвешенная вода также находится в капиллярах, но не имеет непосредственной связи с грунтовой водой и как бы подвешена в почве или грунте; она может получиться например от осадков, просочившихся в почву, но не достигших грунтовой воды; при испарении сверху толщи подвешенной воды она не передвигается снизу вверх;

в) гравитационная вода в состоянии падения (передвижения вниз под влиянием силы тяжести).

5. Вода в твердом состоянии — в виде льда, или подземного инея.

6. Кристаллизационная вода.

7. Химически связанная вода.

Водяные пары в порах почвы (или грунта) находятся при пленочной и гравитационной воде в насыщенном состоянии; точно так же и при гигроскопической воде, если она образует сплошную пленку влаги около частиц почвы. Во всех этих случаях следовательно относительная влажность воздуха в порах почвы или грунта равна 100%. Но если имеется гигроскопическая вода не в виде сплошной пленки (т. е. влажность почвы меньше максимальной гигроскопичности), то водяные пары не насыщают



воздуха пор и относительная влажность меньше 100%. Абсолютная же влажность воздуха в порах почвы вообще зависит от температуры. А так как водяные пары передвигаются как газ — от большей упругости к меньшей, то и в различных слоях почвы мы наблюдаем такое же явление. Разобравшись в каждом конкретном случае, в каком слое упругость паров (или иначе абсолютная влажность воздуха) в порах почвы будет больше, в каких меньше, можно убедиться, что водяные пары в почве (или грунте) передвигаются от слоев с большей упругостью паров к слоям с меньшей упругостью. Но из опытов выясняется, что при влажностях в различных слоях почвы, больших максимальной гигроскопической, водяные пары при одной и той же температуре переходят от слоя с большей влажностью к слою с меньшей влажностью. Какие физические причины играют здесь роль — еще не выяснено.

Нужно отметить, что передвижение воды в почвах, в виде пара, является самой общей формой передвижения воды в почвах и грунтах.

В природных условиях в летнее время температура в почве убывает с глубиной, а зимой возрастает. Положив, что начиная с некоторой незначительной глубины в почве влажность ее больше максимальной гигроскопической, будем иметь передвижение водяных паров летом сверху вниз, а зимой снизу вверх.

На дорогах это может зимою сказаться в том, что в поверхностных слоях дорожного полотна, а на дорогах с покрытием — под этим покрытием, вода может скапливаться в виде прослоек льда, которые будут поднимать поверхность дороги, нарушая на дорогах с покрытием связность этого покрытия. Весною ледяные прослойки, растаивая, могут переувлажнять грунт до такого состояния, что он потеряет несущую способность и грунтовая дорога или дорожное покрытие будет деформироваться под влиянием проезда.

Это один из возможных случаев образования пучин на дорогах; такие взгляды поддерживаются многими русскими и иностранными дорожными работниками. Такие явления наблюдались в полевых условиях и подтверждены лабораторными работами.

### 3. Температура почвы

Солнечная энергия, пройдя атмосферу, достигает поверхности почвы и нагревает ее. Нагретая поверхность почвы, путем теплопроводности и лучеиспускания, с одной стороны, нагревает находящийся над ней воздух, а с другой — нижележащие слои почвы. Ночью поверхность почвы излучает тепло и охлаждается, отчего охлаждается и прилегающий к ней воздух, а также на некоторую глубину и нижние слои почвы. Это — в суточном периоде. В годовом — на место дня можно поставить лето, а на место ночи — зиму. Указанный порядок смены температур поверхности почвы является нормальным. Таким образом можно сказать, что днем и летом почва на известную глубину нагревается, т. е. температура ее повышается, а ночью и зимой охлаждается, следовательно температура ее понижается.

Нагревание и охлаждение почвы зависит от многих причин — теплоемкости и теплопроводности почвы, влажности ее, цвета поверхности, растительности на ней и т. д.



Приводим объемную теплоемкость (в малых калориях на  $1 \text{ см}^3$ ) почвы в зависимости от влажности, которая дана в процентах от полной влагоемкости:

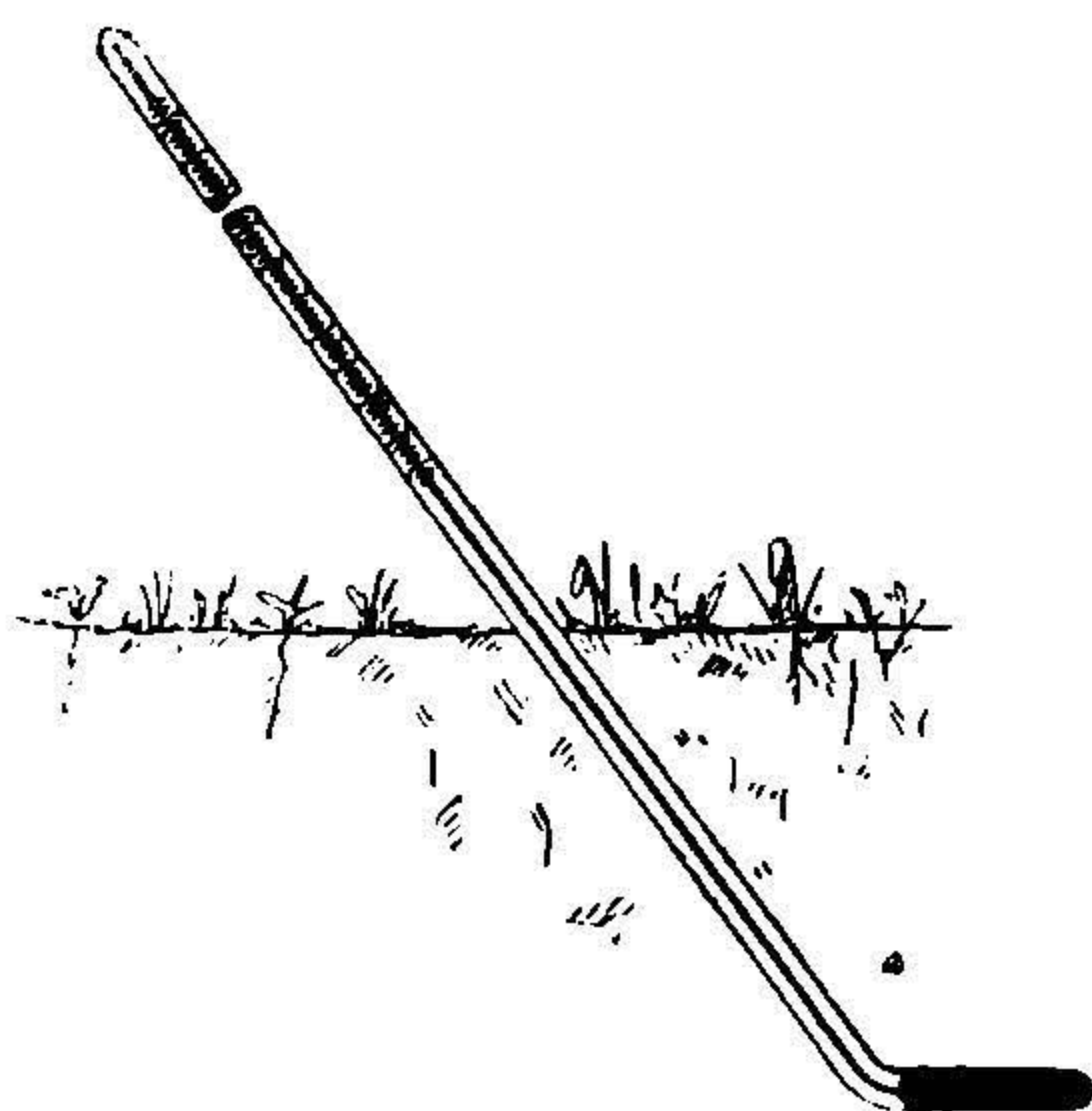
|                 |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Влажность _____ | 0     | 20    | 50    | 100   |
| Песок _____     | 0,347 | 0,401 | 0,480 | 0,633 |
| Глина _____     | 0,263 | 0,356 | 0,539 | 0,902 |
| Торф _____      | 0,197 | 0,321 | 0,555 | 0,945 |

Из таблицы ясно, какую роль имеет вода в величинах объемной теплоемкости.

Теплопроводность песчаной почвы, также в зависимости от влажности, имеет следующие значения:

|                                  |         |         |         |         |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Процентное содержание воды _____ | 0       | 5       | 15      | 20      |
| Теплопроводность _____           | 0,00026 | 0,00114 | 0,00190 | 0,00252 |

**Почвенные термометры.** Измерение температуры почвы производят специальными термометрами на малых глубинах системы Савинова (до глубины 20 см). Эти термометры делаются из стекла, шкала помещается на термометре так, чтобы после установки она приходилась над поверхностью почвы. Установка видна из фиг. 45.



Фиг. 45. Установка термометра Савинова.

Для глубин больших (а часто и начиная с глубины 10 см) употребляют так называемые вытяжные термометры в эбонитовых трубках. В почве делается буровая скважина, в которую вставляется эбонитовая трубка с медным колпачком внизу. В трубку вставляется деревянная палка, к нижнему концу которой приделан термометр, заключенный в особую гильзу. Термометр доходит до дна трубки, которая выступает над поверхностью земли так, чтобы трубка не закрывалась зимою снежным покровом. Нужно сказать, что специальные исследования термометров в эбонитовых трубках показали, что до глубины 40 см показания их не надежны, причем на глубине 10 см они могут давать значительные ошибки.

Для измерения температуры поверхности почвы термометры (обыкновенный, максимальный и минимальный) кладут горизонтально на поверхность почвы так, чтобы шарики их были на половину погружены в почву. Нужно отметить, что этот метод нельзя признать совершенным. В дорожных целях, на дорогах, обычные установки почвенных термометров, кроме электрических, не пригодны. Приходится устанавливать термометры в горизонтальном или наклонном положении так, чтобы верхние части термометров выходили у бровки полотна (фиг. 46).

Почвенные термометры устанавливают на разных глубинах. До глубины 40—50 см наблюдения производят в те же сроки, как и других метеорологических элементов, а глубже 50 см можно наблюдать раз в сутки, что делается обыкновенно днем, в 13 часов.



За последнее время для измерения почвенных температур и в других случаях стали применяться электротермометры. Они бывают двух типов.

Одни—термометры сопротивления основаны на изменении электро-сопротивления платиновых (или иных) проволок с изменением температуры, а именно с повышением температуры сопротивление платиновой проволоки (а также и других химических чистых металлов) увеличивается. Если включить платиновую проволоку, при помощи которой мы хотим измерить температуру данного тела, в систему мостика Уитстона, то легко обнаружить изменение сопротивления проволоки, а по этому изменению вычислить повышение или понижение температуры изучаемого тела.

Другой тип электротермометров — это термопары. Они основаны на том, что если мы имеем замкнутую цепь, состоящую из разных металлов, и будем один из спаев цепи подогревать, то в силу различия температур двух противоположных спаев в цепи возникает разность потенциалов, создающая ток. Включая в цепь чувствительный гальванометр, можно измерить силу этого тока. При надлежащем подборе металлов сила тока может быть в широких пределах пропорциональна разности температур обоих спаев. Таким образом получаем весьма чувствительный термоэлемент.

Преимущество электротермометров обоих типов заключается в том, что они могут служить для измерения как очень низких, так и очень высоких температур. Точность измерений такими термометрами очень велика, например точность до  $0,01^{\circ}$  считается обычной.

Недостатки таких термометров заключаются в том, что для наблюдений по ним нужны квалифицированные наблюдатели. Исправление недостатков таких установок требует хороших механиков. Наконец, при организации полевых наблюдений перевозка точных приборов без нарушения точности их работы — довольно трудное дело.

Однако за последние годы электротермометры начинают не без успеха применяться даже в полевых условиях работы. Они очень удобны для закладки в тело полотна дорог.

В результате для многих пунктов СССР имеется для почвенных температур ряд наблюдений, из которых выяснилось, что температура почвы имеет свои особенности.

На поверхности почвы максимум наступает несколько раньше, чем в воздухе. Амплитуда суточных колебаний температуры поверхности почвы больше амплитуды воздуха. Так как поверхностный слой испытывает периодические колебания температуры, суточный и годовой, то такие же периоды колебаний наблюдаются и в почве до некоторой глубины. При этом амплитуда колебаний уменьшается, а наступление максимума и минимума запаздывает. Непрерывно уменьшаясь, амплитуды — и суточная и годовая — на некоторой глубине доходят до нуля.

Приводим в среднем за год для Слуцка (б. Павловск) времена наступления суточного максимума и минимума, а также величины средних амплитуд.



Фиг. 46. Схема установки почвенных термометров в теле полотна дороги.



| Глубина           | Время наступления |                          | Средняя за год суточная амплитуда |
|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|
|                   | минимума          | максимума                |                                   |
| Поверхность почвы | 3,4 часа          | 13,2 часа                | 14,3°                             |
| 20 см             | 8,1 »             | 18,2 »                   | 2,7                               |
| 40 »              | 12,8 »            | 23,7 »                   | 1,0                               |
| 80 »              | 19,0 »            | 7 час. на следующий день | 0,2                               |

Таким образом на глубине 80 см минимум наступает в среднем вечером, а максимум утром на другой день. Амплитуда на этой глубине всего 0,2°, а на глубине несколько большей она падает до нуля. Следовательно в течение суток на этой глубине температура не меняется и эта глубина называется слоем постоянной суточной температуры или слоем нулевой суточной амплитуды. Глубина залегания этого слоя различна и зависит от многих причин, в частности от состава и физических свойств почвы; в среднем она колеблется от 80 до 100 см.

Запаздывание годовых максимумов и минимумов с глубиной для того же Слуцка по десятилетним данным таково:

| Глубина | Запаздывание сравнительно с поверхностью почвы |          | Годовая амплитуда |
|---------|------------------------------------------------|----------|-------------------|
|         | максимума                                      | минимума |                   |
| 10 см   | 2 дня                                          | 9 дней   | 29,2°             |
| 80 »    | 23 »                                           | 23 дня   | 19,8              |
| 160 »   | 77 дней                                        | 43 »     | 11,8              |
| 320 »   | 108 »                                          | 76 дней  | 6,3               |

| Глубина | Время наступления |          |
|---------|-------------------|----------|
|         | максимума         | минимума |
| 0 м     | 13/VII            | 26/I     |
| 1 »     | 1/VIII            | 24/II    |
| 2 »     | 25/VIII           | 20/III   |
| 3 »     | 15/IX             | 9/IV     |
| 4 »     | 2/X               | 23/IV    |
| 5 »     | 21/X              | 6/V      |
| 6 »     | 9/XI              | 24/V     |
| 7 »     | 1/XII             | 14/VI    |
| 7½ »    | 8/XII             | 22/VI    |

Таким образом на глубине 320 см максимум наступает спустя 108 дней, а минимум — спустя 76 дней после того, как эти крайние величины наступят на поверхности почвы.

Приведем еще данные о запаздывании максимума и минимума в годовом ходе для Кенигсберга:

В Кенигсберге на глубине 7,5 м максимум наступает в середине зимы, в декабре, а минимум среди лета — в июне, т. е. на этой глубине, говоря образно, лето наступает тогда, когда на поверхности почвы



зима, и обратно, зима — тогда, когда на поверхности почвы лето. И в годовом ходе уменьшение амплитуд с глубиной приводит к тому, что на некоторой глубине амплитуда становится равной нулю и температура на этой глубине целый год не меняется. Слой почвы на этой глубине называется слоем постоянной годовой температуры или слоем нулевой годовой амплитуды<sup>1</sup>. Глубина этого слоя различна; в среднем она равна в наших широтах 15—30 м. Так, в Лесном институте в Ленинграде постоянная годовая температура 6,1° находится на глубине 19,6 м, в Белграде 12,9° на глубине 14 м. Глубже этого слоя температура начинает возрастать уже от внутренней теплоты земли, доходя до весьма высоких температур.

До сих пор мы говорили о температуре почвы в ее естественном состоянии и при наличии травяной растительности. На дорогах же имеются или нарушенные горизонты почвы, или насыпи грунтов, или же грунты после снятия верхних слоев почвы. Общие законы распространения температур в таких условиях таковы же, как и в естественных почвах, т. е. происходит уменьшение максимумов и минимумов с глубиной, а следовательно и уменьшение амплитуд, а также и запаздывание температур. Но есть и крупное отличие. До сих пор нет длительных наблюдений за температурой грунтов на дорогах, но на метеорологических станциях имеются наблюдения над так называемой обнаженной почвой, когда при измерении температуры почвы летом с нее убирается трава, а зимой снег. В этих условиях температурный режим почвы уже ближе к дорогам.

В Лесном (Ленинград) в среднем за 15 лет получились следующие разности температур между обнаженной и покрытой почвой.

| Разности температур между обнаженной и покрытой почвой |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Глубины                                                | 0,0 м  | 0,1 м  | 0,2 м  | 0,4 м  | 0,8 м  | 1,6 м  |
| Февраль                                                | —7°,16 | —6°,98 | —6°,36 | —5°,44 | —3°,91 | —1°,19 |
| Июнь                                                   | +4,27  | +3,37  | +3,91  | +3,41  | +3,23  | +0,55  |

Как мы видим, зимой обнаженная почва холоднее, а летом теплее, чем покрытая почва.

*Промерзание почвы.* Для дорожников в температурном режиме почвогрунтов особый интерес представляет промерзание их, так как с процессом замерзания связан ряд деформаций дорожного полотна, искусственных сооружений и зданий.

Процессы замерзания грунтов еще мало изучены. До последнего времени считалось, что вода в почво-грунтах замерзает при 0°; но после того, как по исследованиям русских ученых (Лебедев, Андриянов) и иностранных (Буйюкус) оказалось, что в почвах и грунтах вода находится в различных состояниях, — гравитационной, пленочной и т. д., как у нас уже указано выше, — выяснилось, что разные категории воды замерзают при разных ниже 0° температурах: так, по Буйюкусу гравитационная вода в почве замерзает при —1,5°, а гигроскопическая не замерзает и при —78°.

Приводим таблицу, где сведены результаты опытов Сумгина с замораживанием тонких водяных пленок. Вода бралась из ленинградского водопровода.

<sup>1</sup> Практически слоем нулевой годовой амплитуды считают слой, в котором амплитуда меньше 0,01° или даже меньше 0,1°. Амплитуды, меньшие указанных, идут, конечно, глубже.



| № | Толщина пленки в микро-нах | Условия замораживания пленок |                                 | Результаты замораживания пленок |
|---|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|   |                            | Температура в градусах       | Продолжительность замораживания |                                 |
| 1 | 9,7                        | от—11 до—16                  | 1 час                           | Замерзла                        |
| 2 | 3,2                        | — 4                          | 1 »                             | Не замерзла                     |
| 3 | 3                          | — 16                         | 1 час 35 мин.                   | Замерзла                        |
| 4 | 1,4                        | — 17                         | 2 часа                          | Не замерзла                     |
| 5 | 1,4                        | от—15 до—18                  | 17 часов                        | Замерзла                        |
| 6 | 1,3—1,4                    | — 5                          | 3 часа 40 мин.                  | Не замерзла                     |

Из этой таблицы можно видеть значение толщины пленки, температуры и продолжительности замораживания на процесс замерзания сравнительно тонких водяных пленок.

Эти лабораторные опыты говорят многое, но их нельзя полностью переносить в природные условия, так как в опытах в лаборатории не вполне учтен эффект времени: в природе замерзание есть длительный процесс, в лаборатории опыты более или менее кратковременны. Кроме того в природных условиях имеется бесконечное разнообразие почвенных разностей, с каждой связаны свои особые физические свойства, в воде разных почв могут быть разные содержания растворенных солей, почвы могут быть покрыты снежным покровом разной толщины, различной плотности, а следовательно и теплопроводности и т. д. Но и лабораторные опыты определенно указывают на закономерности в процессах замерзания и разморозки грунтов, лишь только осложняющиеся в природной обстановке.

С технической стороны важно, что разработка мерзлых почв и грунтов трудна: их не берет лопата, а нужно применять лом и кайло, чем удорожается работа.

Максимальные глубины промерзания на некоторых пунктах территории СССР, как они определены на метеорологических станциях при помощи почвенных термометров, таковы:

|                          |       |        |
|--------------------------|-------|--------|
| Амурская опытная станция | _____ | 3,26 м |
| Барнаул                  | _____ | 2,85 » |
| Слуцк                    | _____ | 1 60 » |
| Киев                     | _____ | 0,90 » |
| Тифлис                   | _____ | 0,40 » |

Там, где нет растительного покрова, — промерзание значительно глубже.

По данным Иркутской обсерватории в Иркутске в среднем за 15 лет, почва под естественной поверхностью промерзает на глубину 1,77 м, а под оголенной (летом от травы, зимой от снега) на глубину 2,25 м, т. е. почти на полметра глубже.

При производстве земляных работ нужно учитывать это обстоятельство, принимая в то же время во внимание указанное выше запаздывание в почвах хода температуры с глубиной. Могут представиться случаи,



когда при земляных работах в мае, июне, а на Дальнем Востоке при глубоких земляных работах и в августе встретится мерзлая почва. Так, по тем же данным Иркутской обсерватории, в Иркутске в мае мощность мерзлого слоя почвы под естественной поверхностью 15 см, а под оголенной 82 см. В июне мерзлоты под естественной поверхностью в почве уже нет, под оголенной еще остается 13-сантиметровый мерзлый слой. Промерзание на дорогах, где растительности нет, а снег уплотняется при движении экипажей, — больше, чем на полевых частях дороги.

На старорусском шоссе (34—37 км) в зиму 1926/27 г. оказалось:

|                                   |       |        |
|-----------------------------------|-------|--------|
| Глубина промерзания на оси дороги | _____ | 13½ см |
| » » » обочине                     | _____ | 11¼ »  |
| » » » полевой части               | _____ | 105 »  |

#### 4. Общее описание и морфология пучин

Пучинами на дорогах называются местные поднятия полотна дороги, появляющиеся поздней осенью или зимой и исчезающие, опадающие в зависимости от климатических и других условий весной, реже летом.

На железных дорогах, где полотно всю зиму очищается от снега и рельсы должны строго сохранять приданное им при постройке положение (горизонтальное или с некоторым уклоном), пучины обращают на себя внимание как только начинается взбугривание грунта полотна, так как рельсы от этих бугров часто получают резкие короткие изгибы. Немедленно же начинается и борьба с пучинами. На это затрачиваются значительные средства.

Общая сумма расходов, связанных с пучинами на автогужевых дорогах, неизвестна за отсутствием учета. С постройкой усовершенствованных дорог эти расходы будут возрастать, так как ремонт повреждений от пучин будет стоить дорого.

На автогужевых дорогах в пастоящее время в громадном большинстве случаев снег не счищается и появление бугров на полотне дороги зимою не замечается. Лишь ранней весной после схода снега на пучинистых местах обнаруживаются взбугрения грунта — вообще говоря вне области вечной мерзлоты незначительной высоты. Грунт в пучинистых местах весной во время оттаивания является переувлажненным и настолько слаб, что при проезде не оказывает сопротивления давлению от колес, и полотно дороги или прогибается под колесом и при этом поднимается перед ним валом, или продавлируется, колесо вязнет в грунте, а на шоссе продавливает и кору шоссе. При этом иногда из вершин бугров выливается на поверхность дороги жидкая грунтовая масса. На шоссе щебенка коры теряет взаимную связь и при проезде издает характерный шуршащий звук. Иногда несущая способность полотна настолько сильно уменьшается, что в пучинистых местах лошади и повозки так вязнут, что их приходится вытаскивать. На шоссе, когда оно просыхает, пучинистые места еще долго выделяются на полотне тем, что они увлажнены и имеют другой цвет.

Образование бугров, т. е. поднятие поверхности полотна, есть первая фаза пучинного явления, которая является длительным процессом и заканчивается в различные сроки в зависимости от местных условий и погоды. Когда с началом весны начинается первое оттаивание почвы, пучи-







Наиболее часты случаи пучин с проточной грунтовой водой, но, как мы видим, она не обязательна для образования пучины.

Если производить разрез пучины зимой, то в замерзшей части грунта мы обычно увидим многочисленные, обыкновенно тонкие прослойки льда.

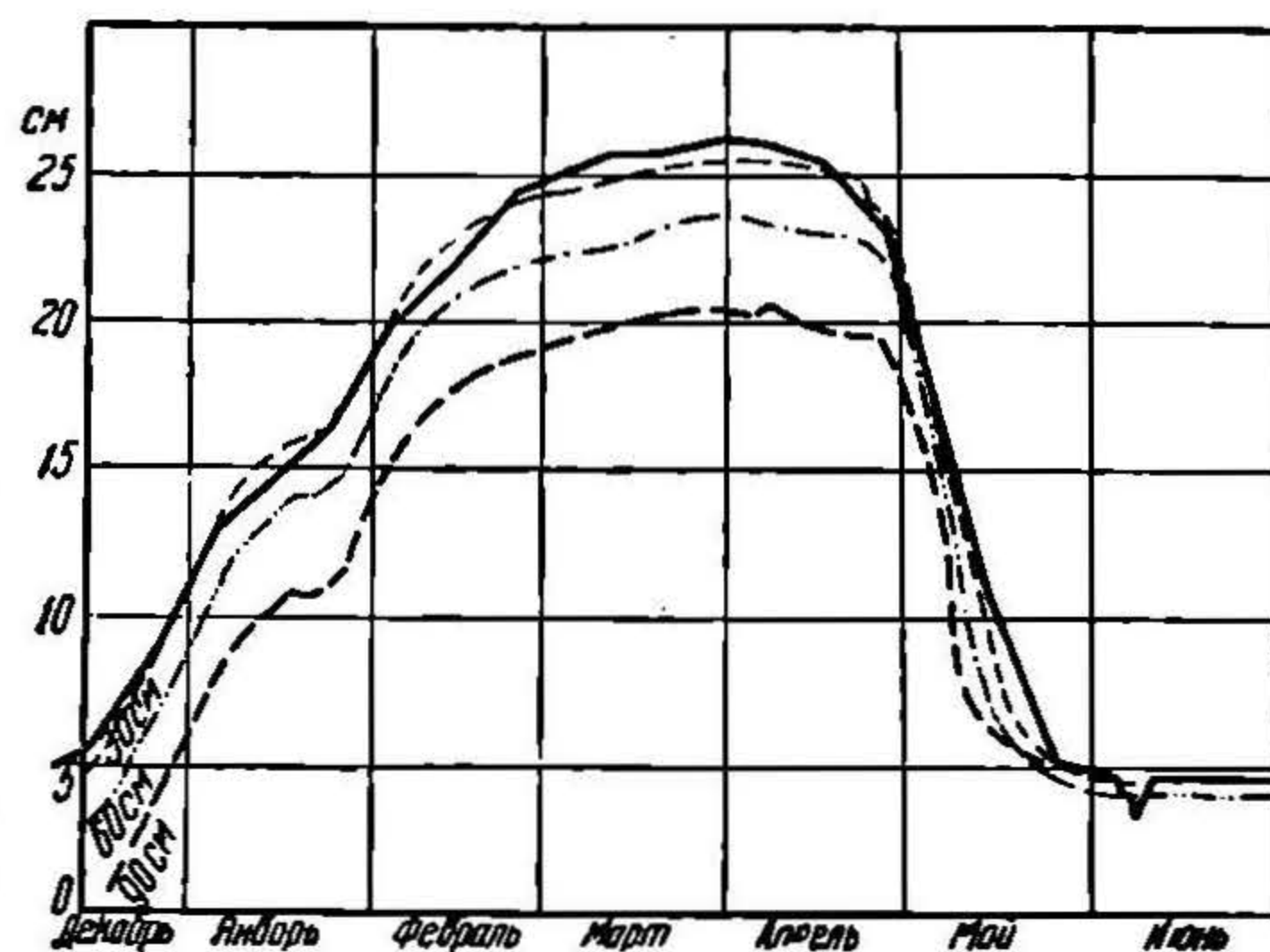
Большей частью прослойки эти идут в горизонтальном или близком к горизонтальному направлении.

Как указано выше, промерзание грунта на шоссежных дорогах идет глубже под ось дороги, как представлено схематически на фиг. 47. Весной оттаивание идет также энергичнее под ось дороги (фиг. 48). Таким образом под дорогой образуется корыто, которое наполнено переувлажненным грунтом. Дном этого корыта является донник.

Такова морфология некоторых пучин на шоссежных дорогах.

По данным изучения пучин на ст. Виноградово Московско-Казанской ж. д. в зиму 1930/31 г. оказалось, как и следовало ожидать, что в поднятии дневной поверхности

почвы важнейшую роль играют наиболее увлажненные слои почвы. При помощи очень простого прибора — самописца-пучинографа — были получены кривые пучения отдельных горизонтов почвы на глубинах 30, 60 и 90 см, а кривая пучения дневной поверхности определялась при помощи нивелировки (фиг. 49). Из этих кривых видно, что поверхность на глубине 60 см поднялась относительно поверхности на глубине 90 см приблизительно на 3 см; поверхность на глубине 60 см над поверхностью на глубине 30 см на 2 см; а дневная поверхность над поверхностью на глубине 30 см всего на 1 см. Таким образом наибольшее поднятие пришлось на слой грунта на глубине 60 — 90 см. Этот слой оказался глинистым, изобильно пропитанным ледяными прослойками<sup>1</sup>. Был ли этот слой и до замерзания при той же влажности, при которой он оказался в мерзлом состоянии, не известно. Надо думать, что он переувлажнился именно в процессе замерзания.



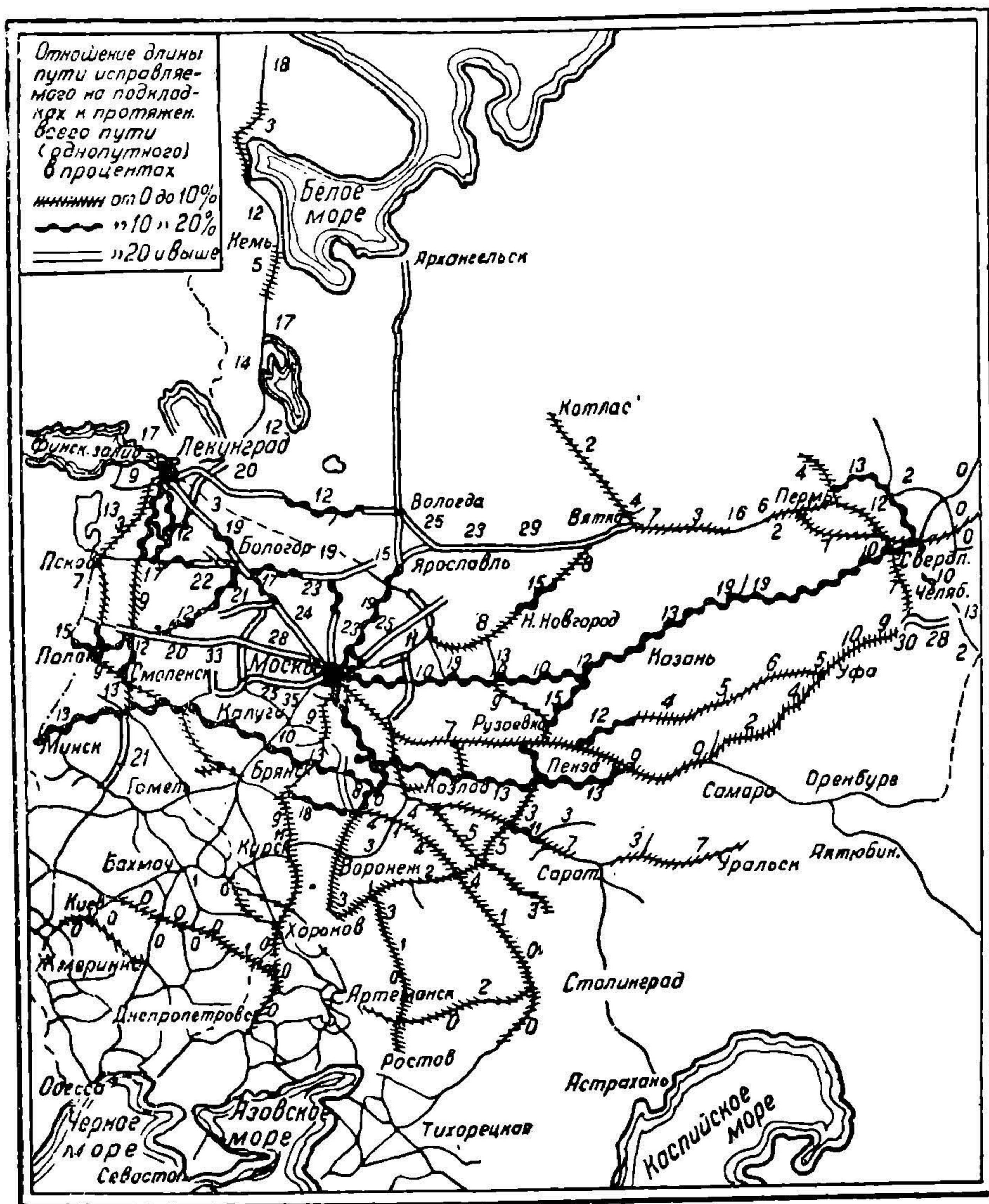
Фиг. 49. Кривые записи пучинографа и кривая (сплошная линия) нивелировки.

## 5. Географическое распространение пучин

Наиболее изучены пучины на железных дорогах. Поэтому для суждения о географическом распределении этого явления на дорогах мы можем воспользоваться только железнодорожными данными и то только для европейской части Союза. С этой целью мы помещаем карту пучин на железных дорогах, составленную С. Л. Бастамовым (фиг. 50).

<sup>1</sup> В. И. Морошкин, «Процесс образования пучин на железнодорожном полотне». Сборник 12 Ц. П. Н. и Р. Ж. П. Изучение пучин железнодорожного полотна, Москва — Ленинград, 1932 г.





Фиг. 50. Карта пучин на железных дорогах.

Выводы из помещенной карты можно сделать самые приблизительные, так как на северо-востоке, где находится район с вечной мерзлотой и где можно ожидать значительного количества пучин, железных дорог не имеется, а на юго-востоке железных дорог мало.

Эти выводы таковы: 1) наиболее высокие пучины на железных дорогах занимают северо-запад европейской территории Союза; 2) южная половина рассматриваемой части Союза имеет менее высокие пучины, чем северная, причем на самом юге пучины сходят на-нет.

Для суждения о распределении пучин по высоте на некоторых железных дорогах приводим следующую таблицу:



| Наименование дорог              | Распределение пучин по высоте, выраженное в процентах к общему количеству пучин |              |            |             |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-------------|
|                                 | до 2 см                                                                         | от 2 до 6 см | от 6—10 см | свыше 10 см |
| Мурманская                      | 27                                                                              | 44           | 16         | 13          |
| Северные                        | 61                                                                              | 33           | 5          | 1           |
| Московско-Белорусско-Балтийская | 46,5                                                                            | 44,1         | 8,2        | 1,2         |
| Донецкие                        | 45                                                                              | 47           | 8          | —           |
| Рязано-Уральская                | 48                                                                              | 45           | 7          | —           |
| Юго-восточные                   | 45                                                                              | 45           | 9          | 1           |
| Московско-Казанская             | 49                                                                              | 42           | 8          | 1           |
| Пермская                        | 39                                                                              | 48           | 8          | 1           |
| Томская                         | 26                                                                              | 38           | 26         | 10          |

Таблица показывает, что значительное количество пучин относится к очень мелким пучинам — высотой до 2 см. Столько же пучин и второй группы — от 2 до 6 см высоты. Пучин выше 10 см очень мало, за исключением Мурманской и Томской железных дорог.

Так как трассировка автогужевых дорог производится по другим принципам, чем железных, то приведенной картой по отношению автогужевых дорог нужно пользоваться только для самых общих соображений.

Географическое распространение пучин на автогужевых дорогах пока не выяснено, так как систематическое изучение пучин на дорогах местного транспорта только начинается.

## 6. Теория образования пучин

Анализируя морфологические данные, мы прежде всего видим, что для образования пучин нужно или известное сочетание различных почвогрунтов или только один грунт, но определенных свойств «пучинистый грунт», каким по лабораторным исследованиям наметился грунт с количеством пылевато-иловатых фракций 60 и более процентов (разумеется, это не единственный пучинистый грунт). Затем обязательным условием является залегание на некоторой глубине водонепроницаемого грунта, пусть даже это будет донник, явление временное. Как вариант, можно допустить, что роль водонепроницаемого грунта будет играть относительно водонепроницаемый слой в духе трактовки этого понятия Лебедевым. Обязательным условием образования пучин является присутствие воды — проточной грунтовой или не проточной (озера и озерки грунтовой воды, по выражению Кейльгака). Но грунтовых вод может и не быть, а имеется просто переувлажненный грунт, причем этот грунт может под зиму уйти и не переувлажненным, а таким он делается лишь зимою во время зимних гидрологических процессов в этом грунте и остается переувлажненным и в первый период весны.



Далее следуют климатические условия. Исключительно важное значение имеет промерзание грунтов. Можно считать, что и количество пучин и величина пучинных бугров, при прочих равных условиях, прямо пропорциональны глубине и интенсивности промерзания грунта. Многометровые по высоте бугры наледей в области вечной мерзлоты родственны пучинным буграм в европейской части СССР, измеряемым сантиметрами. Однако как ни важно промерзание грунтов в образовании пучин, но оно не есть безусловно необходимое условие для пучинных процессов. Пучины могут образоваться и при ничтожном промерзании грунта и даже без его промерзания. Только в последнем случае поднятия грунта будут ничтожны и будут измеряться по высоте 1—3 см.

Наконец пучины, их образование, жизнь и замирание зависят от ландшафта, среди которого проходит и часть которого составляет тот дорожный участок, где имеются пучины. Следует различать ровное место, склон с его величиной уклона и ориентировкой по странам света, водоразделы, а также и те технические приемы, которыми дорога строится в этих разновидностях ландшафта: нулевые профили, выемки, насыпи, различные поперечные и продольные уклоны дорожного полотна. С условиями ландшафта связан характер грунтовых вод, направление и скорость их передвижения, почвенные разновидности, а также увлажнение их осадками. Дорожники много говорят о пучинах, которые образуются в выемках, когда земляными работами нарушается правильность расположения генетических почвенных горизонтов. Дорога, вдоль склона, естественно проходит над теми грунтовыми водами, которые внутри почвогрунтов сочатся с этих склонов.

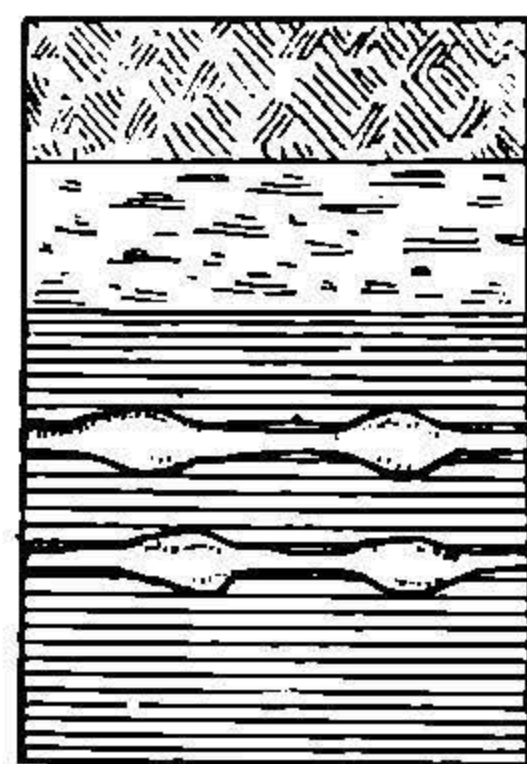
В природной обстановке все указанные обстоятельства встречаются в совокупности, переплетаются между собой — надо все это иметь в виду, чтобы понять всю сложность пучинных процессов и всю трудность их анализа. На железных дорогах вредное влияние пучин сказалось немедленно, как начали эти дороги строиться и эксплуатироваться. Изучение пучин на железных дорогах началось с семидесятых—восемидесятых годов прошлого столетия, но и до сих пор у железнодорожников нет стройной теории этого явления. Без теории железнодорожники выработали ряд практических мер борьбы, которыми из года в год пучины «лечат», но не уничтожают, — пучины повторяются ежегодно на старых местах. Лишь в отдельных случаях героическими мерами посредством замены грунта на железных дорогах пучины уничтожают.

За последние годы занялись изучением пучинных явлений в лабораториях, расчленив сложное явление на отдельные его составляющие и изучая эти составляющие. Ход мысли при этом был приблизительно таков. При пучинах грунты поднимаются, вследствие чего появляются пучинные бугры. Это явление в подавляющем большинстве совершается с влажными грунтами при их замерзании. Следовательно расширение грунтов есть конечный результат увлажнения и замерзания их. Таким образом сложное явление расширения при замерзании увлажненных грунтов можно разложить на две составляющих — сначала расширение грунта от увлажнения, а затем расширение увлажненного грунта от замерзания. При этом, если влажные грунты замерзают без подтока воды в процессе замерзания, то в суммарном расширении в одних грунтах преобладающую роль может играть расширение от замерзания, а распи-



рение от увлажнения второстепенную роль, в других же грунтах наоборот — превалирующую роль играет расширение от увлажнения, а расширение от замерзания — второстепенную роль.

Назовем коэффициент расширения грунтов от увлажнения до полной влагоемкости через  $K_v$ ; коэффициент расширения от замерзания  $K_m$ ; коэффициент суммарного расширения  $K_{vm}$ . Для песков  $K_v < K_m$ , а для глин наоборот  $K_v > K_m$ , т. е., в первых, при замерзании грунта без подтока воды (хотя бы и в виде пара) превалирующую роль играет расширение от замерзания, а во вторых — расширение от увлажнения. При этом расширяющиеся от увлажнения глины при своем расширении могут совершить некоторую работу, например поднимать слой земли, которые лежат на этой глине. Увеличившиеся в объеме при увлажнении глины, высыхая, сжимаются, как говорят «салятся». Усадку глины тщательно изучают керамисты (при выделке кирпича или клинкера и т. д.). По данным керамистов например на Вятском заводе жирная пермская глина, тщательно смешанная с 21% воды по объему и высушенная до воздушно-сухого состояния при 15°, дала усадку 9,2%; та же глина с 10% по весу песка, смешанная опять с 21% воды по объему, дала усадку 7,8%. Суглинок дал воздушную усадку 4,21%. Вообще линейные размеры глин, высушиваемых на воздухе, сокращаются на 4—10%. Если наоборот воздушно-сухие глины увлажнять, то они будут расширяться в размере тех же процентов, как указано выше, и при расширении совершать работу.



Фиг. 51. Схема пучинистого участка (вверху чернозем, затем суглинок, ниже глина с водонесными прослойками).

Представим себе, что неглубоко от дневной поверхности почвы имеется слой глины, который в годовом периоде то увлажняется на значительную толщину, то высыхает — поверхность земли будет подниматься и опускаться (дыхание земли). Для природных условий, где усыхание в толще грунта не будет доходить до воздушно-сухого состояния, усадка будет меньше, чем указано выше, но все-таки будет. Если усадку считать в 2%, то поднятие и опускание на метр толщи глины будет равно 2 см, а на 2 м — 4 см. Периодическое увлажнение и высыхание глины возможно в том случае, если ее толща пронизана водонесными прослойками, по которым в известное время года идет грунтовая вода, а затем перестает идти. Такой слой глины приводит Любимов для Сызрано-Вяземской железной дороги (фиг. 51).

В таких случаях при известных обстоятельствах пучины — поднятие грунта — могут быть и без промерзания почвы. К этому можно добавить и увлажнение глины сверху от осадков.

Железнодорожная практика отмечает пучины на закавказской железной дороге. Надо думать, что они происходят по тем основаниям, которые разобраны выше. На автогужевых дорогах такие пучины будут отмечены практикой в том случае, если на шоссе произойдет при этом одновременно расстройство щебенки, а на грунтовой дороге полотно потеряет свою несущую способность. Если же на шоссе поднятие полотна произойдет без расстройства щебенки, а на грунтовой дороге слой грунта над глиной не потеряет несущей способности — такие пучины не будут замечены, хотя они и существуют. Такие же явления могут быть и на торфя-



ных грунтах. В Псковском районе В. М. Малером, начальником дорожного участка, на одной из дорог было отмечено к весне поднятие полотна дороги над мостом, а затем летом полотно вновь приняло свое первоначальное положение без всякого ремонта. В железнодорожной практике некоторые так называемые мостовые пучины могут быть объяснены таким же образом. Однако в большинстве случаев пучины связаны с промерзанием почвы и с явлениями, с ним связанными. При этом они могут образоваться и в грунтах, которые имеют коэффициент расширения при полной влагоемкости ничтожным. В таких случаях расширение грунтов будет зависеть или от расширения воды при превращении ее в лед, или в результате тех напряжений в грунтах, которые в них появляются при замерзании. В этих случаях пучины могут появиться и без так называемых пучинистых грунтов.

Выше мы отметили, что пучины могут образоваться как при наличии грунтовых вод, так и без них. Разберемся сначала в процессах пучинообразования без наличия грунтовых вод и при ничтожном коэффициенте расширения от увлажнения. Здесь могут быть четыре случая.

**С л у ч а й п е р в ы й.** Грунт увлажнен до полной влагоемкости. В промерзающем слое грунта в процессе промерзания нет ни прихода, ни расхода воды, ни ее перераспределения, т. е. расширение происходит только за счет воды, заключенной в замерзающем слое грунта. Расширение грунта при этом легко вычислить, учтя, что один объем воды превращается в 1,09 объема льда.

Возьмем пример. На метеорологической станции Гош (б. Амурской области) в толще почвы в 1 м (начиная от дневной поверхности до глубины 1 м) по исследованиям Безайса запасы влаги перед замерзанием почвы выражались следующими числами:

|                   |       |          |
|-------------------|-------|----------|
| в декабре 1911 г. | _____ | 498,3 мм |
| »   »   1912 »    | _____ | 539,1 »  |
| »   »   1913 »    | _____ | 557,9 »  |
| »   »   1914 »    | _____ | 493,2 »  |
| »   »   1915 »    | _____ | 583,5 »  |
| В среднем _____   |       | 534,4 мм |

Если взять мысленно в почве столб высотой в метр с основанием  $1 \text{ см}^2$ , то в нем будет  $53,44 \text{ см}^3$  воды. Замерзая, эта вода обратится в лед с объемом  $53,44 \times 1,09 = 58,24 \text{ см}^3$ . Разница объемов льда и воды  $58,24 - 53,44 = 4,8 \text{ см}^3$ . Так как при содержании влаги  $53,44 \text{ см}^3$  на  $100 \text{ см}^3$  почвы можно считать, что все поры почвы заняты водой, то указанное увеличение объема на  $4,8 \text{ см}^3$  пойдет на увеличение объема почвы. В боковые стороны увеличения объема быть не может, так как с боков столба почвы также идет промерзание и расширение и получается взаимное уравнивание. Остается — возможность расширения вверх и вниз, и оно пойдет вверх в сторону наименьшего сопротивления. Следовательно при промерзании почвы на станции Гош на глубину метра почва поднимается на высоту около 5 см. Такое поднятие почвы в чистом виде случается редко, так как процесс замерзания почво-грунтов сложнее, чем указано в разобранным примере.



Прежде чем говорить о втором и третьем случаях образования пучин, скажем несколько слов о том, что происходит с влагой в почве во время ее промерзания. По нашим лабораторным исследованиям оказалось, что в процессе замерзания почвы влага в ней перераспределяется и влажность в различных малых объемах мерзлого грунта будет иной, чем в этих же объемах до замерзания. В песчаных грунтах вода в наших опытах выступала на верхнюю поверхность замораживаемого грунта и замерзала на этой поверхности слоем до 2, иногда 3 мм толщины (фиг. 52).

В пылеватых грунтах вода на верхнюю поверхность грунта не выступала, но перераспределение влажности также было, и верхние слои после промораживания были влажнее, чем слои, непосредственно ниже залегавшие. Иогансон замораживал образец почвы, содержащий 31,6% влажности. Опыт был поставлен так, что земля замерзала только сверху подобно почве в естественном состоянии. Через 24 часа Иогансон определил послойно влажности в замерзшем образце.

П о л у ч и л о с ь :

| Глубина в<br>см | Процент<br>влажности |
|-----------------|----------------------|
| 0—3             | 46,6                 |
| 3—6             | 28,3                 |
| 10—13           | 28,9                 |
| 20—23           | 29,6                 |

В опытах Сумгина средняя влажность песчаных образцов до замораживания была 21,59%. В замороженных образцах влажность в среднем была:

|                 | Процент<br>влажности |
|-----------------|----------------------|
| 1 слой сверху   | 24,42                |
| 2 » »           | 18,93                |
| 3 » »           | 20,43                |
| 4 » »           | 21,83                |
| 5 (нижний) слой | 22,58                |



Фиг. 52. Опыт промораживания увлажненного до полной влагоемкости песка.

Усиленная влажность верхних слоев мерзлых грунтов в этих опытах — Сумгина и Иогансона — есть результат передвижения влаги как в жидком, так и парообразном состоянии в процессе замерзания. Возможность передвижения в замерзающих грунтах влаги в жидком состоянии объясняется тем, что образующиеся из воды в почве кристаллы льда, не помещаясь в порах, раздвигают частицы почвы и образуют новые поры, если можно так выразиться, п о р ы з а м е р з а н и я, которые сливаются в капилляры и трещинки. По ним-то вода и заходит в мерзлые грунты.

Перераспределение влажности в грунтах в процессе их замерзания наблюдалось и в природных условиях.

С л у ч а й в т о р о й. Замерзающий слой грунта может и не иметь во всей своей толще полной влагоемкости. Но при замерзании он обогащается влагой из нижележащих незамерзающих слоев путем перехода воды в замерзающий слой в жидком виде. От замерзания воды — как быв-



шей в замерзающем слое грунта, так и поступившей из нижних слоев в процессе замерзания грунт конечно расширится и при благоприятных условиях получатся взбугрения — пучины — размером часто больше, чем в первом случае. При таянии такого грунта он легко делается переувлажненным и теряющим (при известных качествах, например пылеватые грунты) свою несущую способность.

**С л у ч а й   т р е т и й.** Замерзающий слой грунта также может не иметь во всей своей толще полной влагоемкости. Но при замерзании он обогащается влагой за счет влаги нижележащих незамерзающих слоев в виде пара. Происходит зимою непрерывная перегонка паров из нижних талых слоев в верхние, мерзлые. Хотя при образовании льда из паров воды выделяется большое количество скрытой теплоты, но так как поверхность почвы непрерывно теряет тепловую энергию лучеиспусканием (а частью и теплопроводностью в воздух, особенно при ветре), то скрытая теплота при образовании льда только замедляет охлаждение почвы, но не прекращает его.

Результатом такой конденсации паров воды верхними мерзлыми слоями почвы из нижних слоев появляются прослойки льда в верхних слоях, увеличивающие их объем. При оттаивании верхние слои оказываются переувлажненными — со всеми последствиями для проезда экипажей.

За время процесса замерзания почво-грунтов бывают периоды, когда замерзание идет интенсивно вглубь почвы, бывают и такие периоды, когда замерзание совершается медленно (например периоды потепления в воздухе), как бы приостанавливается (особенно во время кратких оттепелей). По мнению шведских исследователей, именно эти последние периоды и являются временем, когда в почвогрунтах образуются из паров более мощные ледяные прослойки. Устанавливается некоторое стационарное состояние в ходе тепловых физических процессов в почве: поверхность ее столько же теряет тепла путем лучеиспускания, сколько к нижней поверхности замерзшего слоя поступает тепла из глубоких слоев почвы и от скрытой теплоты превращения водяных паров в лед. При этом следовательно образуется такой поток тепла: на нижней границе замерзшего слоя тепловой баланс складывается из двух источников: 1) поступает теплопроводностью из глубоких слоев почвы количество тепла  $a_1$ , 2) выделяется скрытой теплоты от преобразования водяных паров в лед  $a_2$ . В итоге получается некоторое количество тепловой энергии

$$A = a_1 + a_2.$$

Количество  $A$  теплопроводностью передается по мерзлому слою к его дневной поверхности, и это же количество  $A$  теряется дневной поверхностью лучеиспусканием и другими способами. Чем дольше такой момент продолжается, тем значительнее по мощности образуется ледяная прослойка — и наоборот. Здесь может играть большую роль снежный покров: если его мощность увеличится, то и при усилении морозов в воздухе промерзание почво-грунтов может задержаться и образование ледяных прослоек у нижней границы мерзлого слоя продолжаться.

Все эти рассуждения подтверждаются многочисленными полевыми наблюдениями советских и иностранных (шведских и финских) исследователей дорожных пучин. Кроме того они подтверждены лабораторными



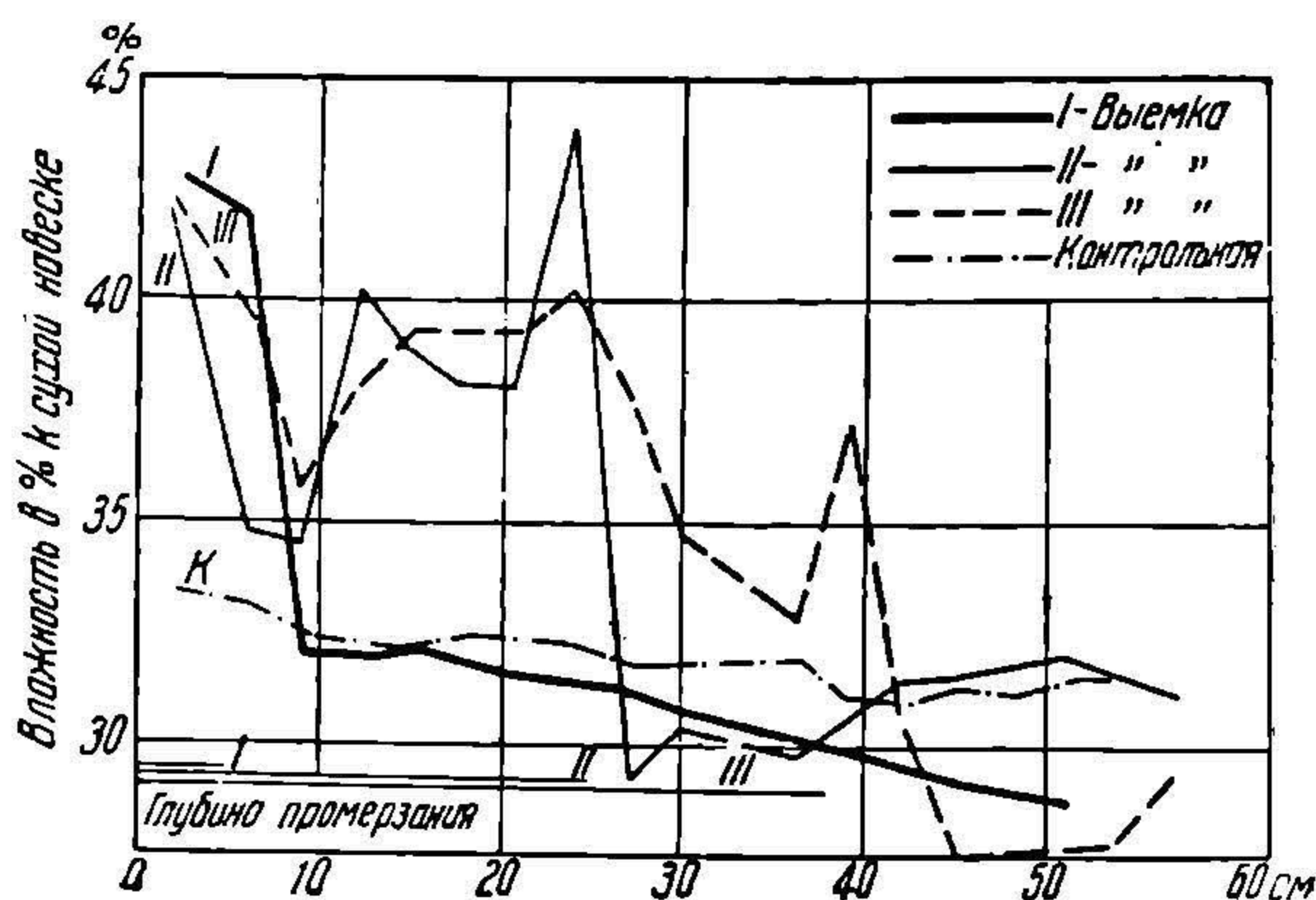
исследованиями Института пути НКПС. Основная задача этих исследований — доказательство того факта, что при задержании границы промерзания на определенном горизонте в последнем образуется максимум влажности. Вторая задача — выявление условий образования ледяных прослоек.

В климатической камере можно путем повышения и понижения температуры камеры добиться задержания границы промерзания на определенном горизонте. Условия опытов были таковы. Однородный грунт — глина — насыпалась в деревянные, покрытые лаком, ящики размерами  $12 \times 12 \times 60 \text{ см}^3$ , изолированные с боков и снизу; таким образом промерзание возможно было только сверху. Дно ящиков делалось дырчатым;

с внутренней стороны дно обкладывалось тонкой металлической сеткой и фильтровальной бумагой. На нижней изоляции помещались поддонники, наполненные водой, в которые и ставились ящики с грунтом. Этим достигался подток влаги в грунт снизу. Кроме указанных ящиков был наполнен грунтом один контрольный ящик, неподвергнутый замораживанию. Первоначальное увлажнение грунта было доведено до капиллярной влагоемкости.

Так как все ящики находились в совершенно одинаковых условиях, то вместо взятия проб бурами после известного периода морозения вынимался один ящик. Всего в первой серии было три выемки монолитов: через 209 часов, через 593 часа и через 810 часов, считая от начала опыта. Граница промерзания задерживалась последовательно на следующих глубинах: 5 см, 25 см, 38,5 см.

На фиг. 53 показано распределение влаги при трех вскрытиях мерзлого грунта и контрольного. По вертикали указана влажность в процентах к абсолютно сухой навеске, а по горизонтали — глубина горизонта в сантиметрах. Кривые I, II и III дают распределение влажности соответственно первому, второму и третьему вскрытиям. Горизонтальные прямые I, II и III показывают глубину промерзания соответственно первому, второму и третьему вскрытиям. На диаграмме резко видно следующее: кривая I имеет один максимум, соответствующий первому задержанию границы промерзания на глубине 5 см, кривая II имеет два максимума, соответствующих первому (на глубине 5 см) и второму (на глубине 25 см) задержанию границы промерзания, кривая III имеет три максимума, соответствующих задержаниям границы промерзания на глубинах 5, 25 и 38,5 см. Таким образом каждое задержание границы промерзания вызывало накопление влаги в соответствующем горизонте. Вопрос о на-



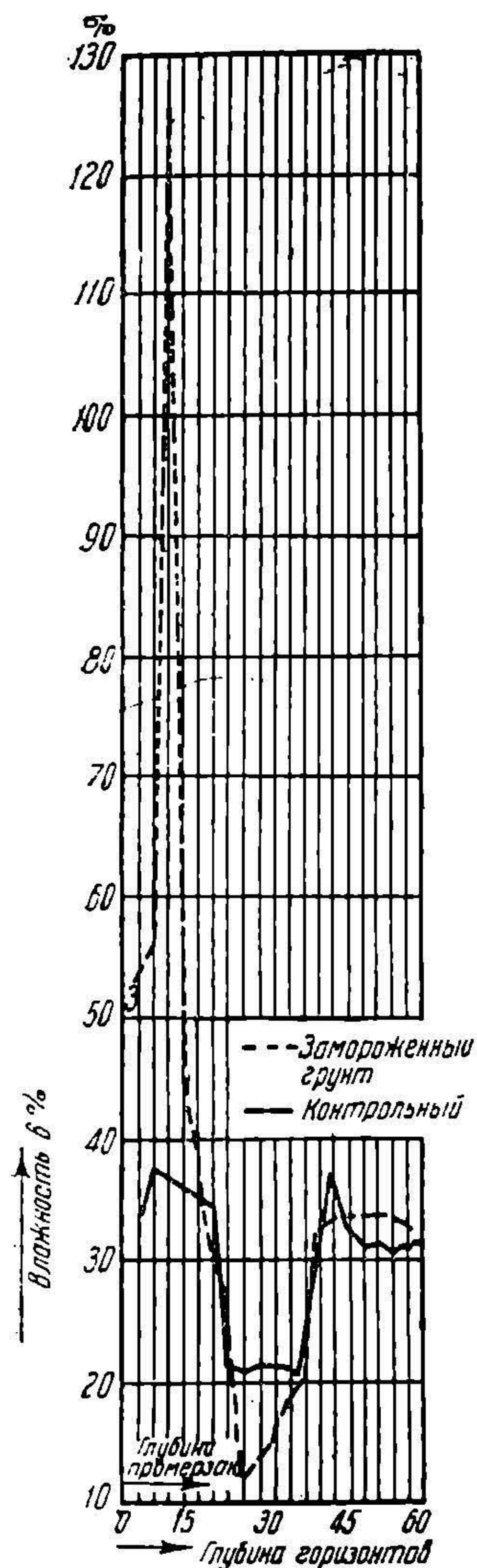
Фиг. 53. Распределение влажности в грунтах, в которых при замораживании граница промерзания задерживалась на определенных глубинах.



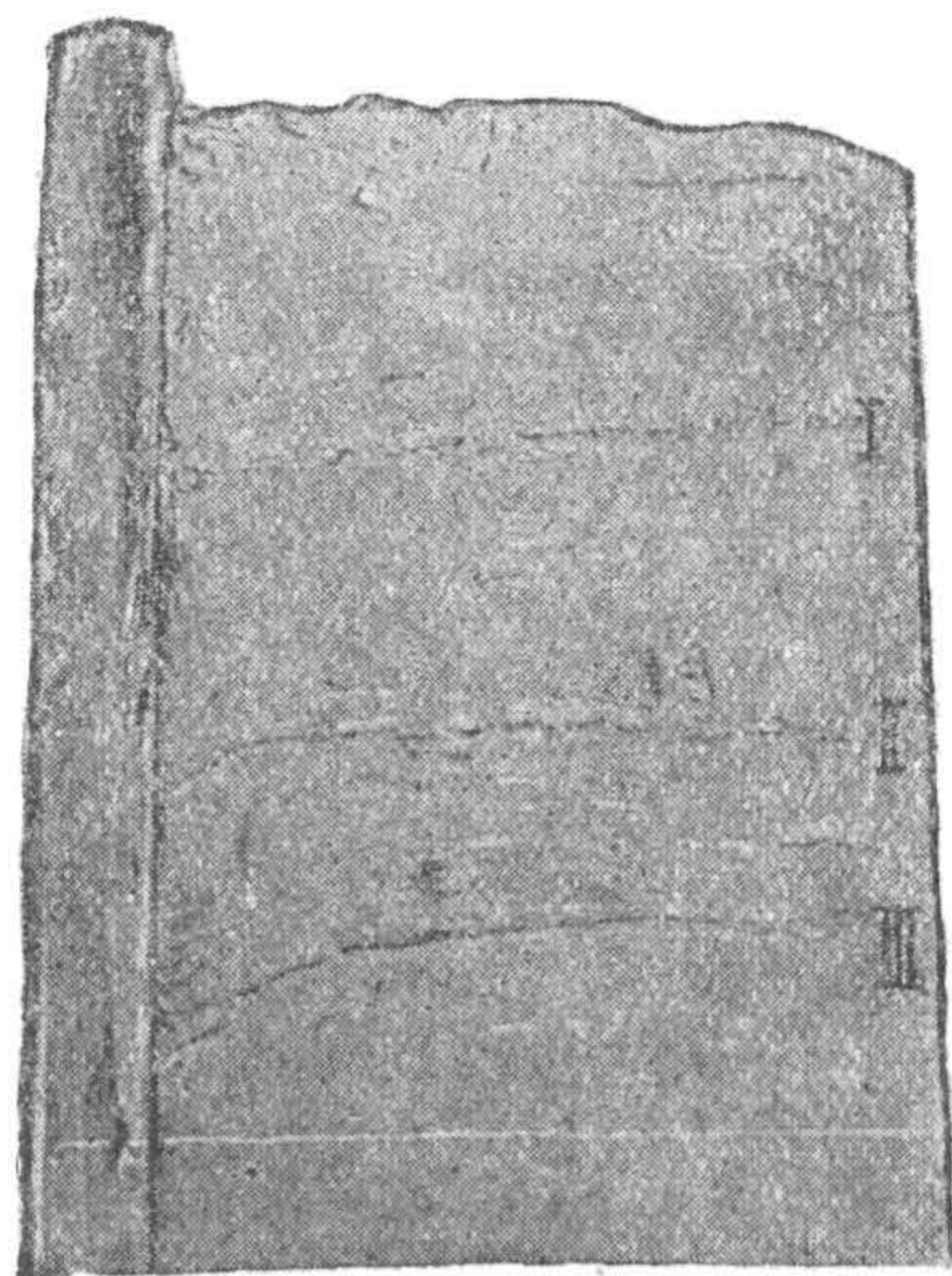
коплении максимума влаги у границы промерзания этим опытом вполне разрешен. Максимум влажности получен в наперед заданном горизонте.

Ледяные прослойки были обнаружены уже при втором вскрытии (после 598 часов от начала опыта) на глубине 25 см, т. е. возле границы промерзания. Толщина прослоек 0,2—0,5 мм. При третьем вскрытии прослойки льда были вновь обнаружены на этой же глубине и ниже, у новой границы промерзания.

Чтобы получить более мощные прослойки проведена была вторая серия опытов. В этой серии грунты брались разнородные. Приводим результаты, полученные при следующем комбинировании грунтов. Сверху до 20 см был слой глины, далее залегал слой песка в 15 см, а под ним опять глина. Грунты были увлажнены до полной влагоемкости, чтобы иметь возможность получить мощные прослойки. Граница промерзания колебалась в области от 6 до 12 см, после чего была задержана на глубине 16 см. Картина распределения влажности дана на фиг. 54.



Фиг. 54. Распределение влажности в замороженных грунтах: глина—песок—глина.



Фиг. 55. Образец промороженного грунта с ледяными прослойками.

Максимум влажности вследствие колебания границы промерзания в области от 6 до 12 см получился в середине этой области, на глубине 8—9 см. На глубинах 6, 12 и 16 см образовались мощные ледяные прослойки.

На фиг. 55 прослойки обозначены цифрами: I на глубине 6 см мощностью до 0,5 см, а местами и больше, II — на глубине 12 см мощностью



в 0,3 см и III—на глубине 16 см мощностью от 0,6 до 1 см. На прослойках лед местами имел инееобразный вид, что подтверждает мысль о передвижении влаги в парообразном состоянии.

Приведенные результаты лабораторных исследований полностью разрешают поставленную задачу о перераспределении влаги и образовании ледяных прослоек.

**С л у ч а й ч е т в е р т ы й.** Вода из нижних талых слоев поступает в замерзающие слои как в виде пара, так и в жидком виде. Это наиболее часто встречающееся в природе явление.

По наблюдениям и лабораторным опытам русских и иностранных специалистов в процессе замерзания влажность грунтов изменяется: перед замерзанием почво-грунты имеют некоторую определенную влажность, после замерзания другую большую или меньшую, влажность.

Передвижение воды из нижних незамерзших слоев почво-грунтов в верхние замерзшие и замерзающие не трудно понять на основании элементарных физических законов о конденсации водяных паров. В замерзших и замерзающих грунтах, имеющих отрицательную или нулевую температуру, давление водяных паров меньше, чем в талых слоях, имеющих положительную температуру, и понятно, что поток идет от талых к мерзлым слоям.

Уяснение передвижения воды в жидком виде из талых в мерзлые слои гораздо труднее. Если нет грунтовых вод и если талые слои находятся при капиллярной влагоемкости, то по Лебедеву такая вода относится к категории гравитационной воды в «подвешенном состоянии». Эта вода при уменьшении ее толщи сверху не передвигается снизу вверх в жидком виде. Поэтому передвижение такой воды в жидком виде вверх может совершаться только при особых условиях, вызываемых процессом замерзания влажной почвы. Эти особые условия заключаются в напряжениях в слоях замерзающего грунта, о которых сказано при рассмотрении вечно мерзлых почв.

Однако нужно сказать, что пучины, получающиеся в тех случаях, когда в месте их образования отсутствуют грунтовые воды, не бывают мощными и взбугрения измеряются сантиметрами. Такие пучины называются главным образом в момент оттаивания грунта, который, будучи переувлажнен, теряет свою несущую способность и не может выдержать тяжести экипажей. Здесь большую роль играют качества грунта, и, как мы говорили выше, грунты с большим содержанием тонкой фракции пыли, переувлажняясь, являются пучинистыми грунтами.

В природе часто встречаются пучины, бугры которых измеряются (вне области вечной мерзлоты) десятками сантиметров. Такие пучины для своего образования требуют более или менее мощных запасов воды, и такими запасами являются грунтовые воды.

Связанная с грунтовой водой капиллярная вода, заполняющая капиллярные пустоты в почво-грунтах, лежащих выше зеркала грунтовых вод, при уменьшении ее высоты в капиллярах быстро восстанавливает свой прежний уровень. При этом в замерзающие слои может подниматься через мелкие трещины в мерзлых слоях почвы значительное количество воды.

Кроме того напряжения в грунтах при их замерзании проявляются в передвижении грунтовой воды, а в некоторых случаях и плы-



вунных масс. Таким образом в образовании бугров пучин может принимать участие не только грунтовая вода, находящаяся под бугром, но и грунтовая вода, находящаяся в стороне от места образования бугра.

Пучение грунта, в котором при замерзании его участвуют грунтовые воды, лежащие или глубже нижней границы промерзания грунта или в стороне от бугра пучины, называется пучением с подтоком воды. Здесь подразумевается подток воды в жидкой фазе.

Бугры пучин этого рода отличаются своей высотой, и если вне области вечной мерзлоты высота таких бугров измеряется только в крайних случаях двумя-тремя десятками сантиметров, то в области вечной мерзлоты высота бугров измеряется метрами. Известны случаи из практики в области вечной мерзлоты, когда в одну ночь высота бугров пучин достигала 50 см.

## 7. Систематизация пучин

Рассматривая пучины как естественно-историческое явление, можно разложить это явление на следующие элементы:

1. Место образования пучин — по отношению к рельефу, где проходит дорога, и по отношению к самой дороге.
2. Характер грунтов в месте образования пучин.
3. Гидрологические условия.
4. Причины образования пучин.
5. Время их образования.
6. Характер развития.

Основываясь на всем, что в настоящее время нам известно о пучинах, мы можем следующим образом систематизировать пучинные явления по их элементам.

### *I. Пучины по месту их образования*

А. По отношению к рельефу, где проходит дорога.

1. На пониженных (отрицательных) формах рельефа.
2. На повышенных (положительных) формах рельефа.
3. На склонах.

Б. По отношению к самой дороге.

1. На нулевом профиле.
2. На подъемах (или спусках).
3. На насыпях.
4. На выемках — как в концах выемок, так и посредине их.

Сказанное о месте появления пучин можно характеризовать одним словом «везде»; для автогужевых дорог имеется еще слишком мало материала, чтобы говорить о преимущественном появлении пучин в том или другом месте по рельефу и по отношению к дороге.

### *II. Характер грунтов в месте образования пучин*

А. Обязательное наличие подстилающего на некоторой незначительной глубине водонепроницаемого грунта:

1. Глинистых разностей.
2. Каменистых пород.
3. Мерзлого грунта, хотя бы в талом состоянии он был и водонепроницаем.



Б. Над водонепроницаемым слоем находятся:

1. Плывуны грунты<sup>1</sup>:

а) слоем от водонепроницаемого грунта до верхней поверхности полотна дороги;

б) одним из нескольких слоев, лежащих над водонепроницаемым грунтом.

2. Водопроницаемые грунты, лежащие обыкновенно на водонепроницаемом слое и прикрытые одним или несколькими слоями грунтов других разностей.

3. Глинистые грунты, имеющие в себе прослойки водопроницаемых грунтов.

4. Торфяные грунты.

### III. Гидрологические условия

1. Наличие грунтовых вод (движущихся или стоячих).

2. Увлажнение сверх критической влажности плывунов грунтов, находящихся над водонепроницаемым слоем, но без участия грунтовых вод, которых или нет, или они залегают слишком глубоко от дневной поверхности почвы.

**Примечание.** Когда пучины образуются под влиянием гидростатических или гидродинамических сил, грунтовая вода в том месте, где проявляется пучина, не обязательна: она может быть нагнетена со стороны, причем или, проникая в талый и мерзлый грунт, замерзнет в нем или скопится под мерзлым грунтом и замерзнет в виде линзы.

### IV. Причины образования пучин

1. Пучины, где главную роль играет расширение грунтов от увлажнения (промерзания грунтов нет или оно ничтожно). Такие пучины связаны с наличием глинистых грунтов и грунтовых вод, которые в известные времена года проходят внутри глинистых грунтов по водоносным слоям, пронизывая глинистые грунты.

2. Пучины, где главную роль играет промерзание влажных грунтов. При этом:

а) в грунтах замерзает и расширяется вода, заключенная в самом промерзающем слое;

б) в грунтах замерзает и расширяется как вода самого замерзающего слоя, так и вода нижележащих талых слоев, поднявшаяся в замерзающий слой в виде жидкости или пара, но не из грунтовых вод. Пучины в случаях а) и б) имеют незначительные поднятия;

<sup>1</sup> Одной из разновидностей плывунов грунтов является грунт, содержащий фракцию мелкой пыли (0,01—0,005 мм) не менее 60%. Особенностью таких грунтов является то, что при некоторой определенной влажности эти грунты приобретают свойства вязких жидкостей. Так, в опытах, произведенных в лаборатории Научно-исследовательского автодорожного института И. С. Вологдиной, грунт, механический состав которого был следующий:

|                |           |            |             |          |            |
|----------------|-----------|------------|-------------|----------|------------|
| фракции в мм   | 4—2       | 2—1        | 1—0,5       | 0,5—0,25 | 0,25—0,075 |
| содержание в % | 0,02      | 0,14       | 0,78        | 1,29     | 2,56       |
| фракции в мм   | 0,05—0,01 | 0,01—0,005 | 0,005—0,001 | < 0,001  |            |
| содержание в % | 12,95     | 61,92      | 9,88        | 9,69     |            |

гигроскопической воды 0,87)

при влажности в 73% от полной влагоемкости получил свойство передавать давление (на некоторое расстояние) по закону Паскаля. Этот процент влажности и есть критическая влажность для данного грунта.



в) при замерзании грунтов в них замерзает (и расширяется) не только вода, заключенная в замерзающем слое, но и грунтовая вода, которая или поступает в замерзающий слой в виде паров, или в жидком виде, или грунтовая вода нагнетается в замерзающий или под замерзающий слой под влиянием напряжений в замерзающих грунтах, напряжений, создающих условия для гидростатических или гидродинамических сил, вызывающих передвижение грунтовой воды в пучину.

При участии в образовании пучин грунтовой воды — развитие пучин максимально. При этом бугрообразование может происходить быстро.

#### *V Время образования пучин*

В этом вопросе нужно отличить начало бугрообразования и конец его. Комбинируя эти два момента, естественно, имеем четыре сочетания:

а) раннее начало (осень) и раннее окончание (начало или середина зимы);

б) раннее начало (осень) и позднее окончание (конец зимы перед началом таяния грунта);

в) позднее начало (середина зимы) и раннее завершение процесса (зимой же);

г) позднее начало (середина или даже перед концом зимы) и позднее окончание процесса (в самом конце зимы или в начале весны или даже летом).

Для автогужевых дорог при конном транспорте, как говорилось выше, процессы самого бугрообразования не имеют значения. Пучины сказываются во второй фазе их — в процессах осадки бугров при таянии грунта. Этот процесс начинается весной, наступление которой, как известно, идет в общем с юга на север; следовательно на юге конный транспорт раньше сталкивается с вредным влиянием пучин, чем на севере. На автотранспорте сказываются и бугры пучин; что же касается их осадки, то здесь автотранспорт, одинаково с конным, испытывает затруднения от пучин с началом таяния грунта, когда переувлажненный грунт пучин теряет свою несущую способность, — до времени высыхания грунта.

#### *VI. Пучины по характеру их развития.*

А. По развитию в вертикальном направлении.

С наличием одного или нескольких бугров (пучины с полным циклом развития: поднятие бугра и его осадка).

Пучины без бугров (с неполным циклом развития). Однако нужно иметь в виду, что, исходя из идеи пульсации, почвы и пучины с неполным циклом развития имеют фазу поднятия и фазу опускания грунта, но только эти фазы слабо развиты. В дорожном отношении такие пучины сказываются при таянии грунта как «топкие, вязкие места».

Б. По развитию по площади.

1. Занимающие незначительную площадь дорожного полотна.

2. Занимающие значительную площадь дорожного полотна, когда имеется один большой по площади бугор, или несколько бугров, или мостовые пучины, т. е. поднятия полотна дороги на всю его ширину и на значительное протяжение (такие пучины легко узнаются, когда они образовались между мостами, устои которых остаются неподвижными и оказываются ниже поднявшегося полотна).



В первом случае мы имеем или небольшие участки пучинистых грунтов (например с мелкой пылеватой фракцией), или незначительные потоки грунтовых вод, или незначительные стоячие почвенные воды; во втором наоборот—или значительные участки пучинистых грунтов, или мощные потоки грунтовых вод, или большие пространства с стоячими грунтовыми водами.

## 8. Меры борьбы с пучинами

Эти меры можно разделить на две группы: пассивные и активные меры борьбы.

### *I. Пассивные меры*

1. Временное прекращение езды по дороге.
2. Объезд пучинистого места.

### *II. Активные меры*

1. Закрывание пучинистых мест весной, когда грунт начнет таять, хворостом. Предпочитается хворост краснотелеса. Хворост убирается с дороги, когда пучины просохнут.

2. Прогревание (пропаривание паром) весной донника.

Оба указанные способа борьбы с пучинами нужно назвать паллиативными мерами: борются с последствиями болезни, не затрагивая ее сущности, и повторяя из года в год на одном и том же месте одни и те же меры борьбы. На железных дорогах этим мерам соответствуют нащпальники,— тот же паллиатив, которым смягчают крутые изгибы рельсов от пучинистых бугров.

3. Удаление или отводы воды из пучинистого места:

- а) открытыми канавами,
- б) закрытым дренажем,
- в) поглощающими колодцами.

При этом нужно иметь в виду, что дренаж удаляет хорошо только гравитационную воду и что через известное число лет дренажное устройство заиливается. Тщательность работ — защита дренажа мхом и т. д. — удлиняет сроки работ дренажей. Дрены прокладываются как по дорожным канавам, так и внутри полотна, вдоль или поперек его. В грунтах пучинистых дрены должны настолько отвести воду, чтобы грунт пучинистых мест имел влажность ниже критической.

4. Поднятие полотна дороги с помощью насыпки грунта на полотно (песка, гравия). Этот способ преследует две цели: улучшение качества рабочей части полотна на грунтовых дорогах, а на шоссейных — укрепление основания под одеждой; с другой стороны, насыпанный слой защищает тело полотна дороги от промерзания примерно на глубину насыпанного слоя.

В лесистых местах (у нас, а также в Швеции) поступают следующим образом: на пучинистый грунт накладывают тщательным образом хворост — лучше хвойных деревьев — слоем толщиной 20—30 см, сверх него кладут сначала мох или тонкий слой незрелого торфа, а затем уже песок и гравий (последние также на 25—30 см).

Измерение слоя хвороста в Швеции производится следующим образом: на настланный слой становится рабочий и измеряет толщину слоя от поверхности грунта до подошвы сапог. Однако нужно иметь в виду, что



хворостяной слой хорошо несет свою службу только в том случае, если по дороге происходит обычное конное движение. При автомобильном движении, а также при тракторном прокладка хворостяного слоя не достигает цели, так как под тяжестью проезда хворост быстро пропитывается пучинистым грунтом или ломается.

Вместе с хворостом или вместо хвороста кладется тонкий жердник, что удлиняет службу настила. Хворост или тонкий жердник нехвойных деревьев, как известно, скорее гниет, чем из хвойного леса.

5. У т е п л е н и е г р у н т а — способ, имеющий в виду уменьшение глубины промерзания грунта в пучинистом месте. Раньше для этой цели производили насыпку навоза или снега в специальные канавы в полотно дороги. В последнее время на железных дорогах широко распространяется отопление земляного полотна паровозным шлаком. После ряда бессистемных опытов по отоплению полотна шлаком, проведенных некоторыми железными дорогами, Институт пути НКПС подвел прочную научную базу под указанный метод, обосновав его теоретическими, лабораторными и полевыми исследованиями. Теоретические работы <sup>1</sup> дали возможность установить толщину шлаковой подушки в зависимости от термических констант (температуропроводимости, теплопроводимости, теплоемкости и объемного веса) шлака и грунта, а также глубины промерзания грунта до заложения шлаковой подушки.

На основании найденной формулы была составлена номограмма для производства расчетов толщины шлаковой подушки. Лабораторные исследования установили оптимальные размеры шлаковых частиц, выдвинули необходимость прикрытия шлака баластом для уменьшения потери тепла путем лучеиспускания (шлак — черное тело) и определили термические константы паровозного шлака в зависимости от влажности и температуры <sup>2</sup>. В то же время были организованы полевые исследования по определению глубины промерзания полотна железных дорог.

Промерзание исследовалось в каждом намеченном пункте в следующих точках: 1) на нулевом месте полотна, 2) в поле против нулевого места, 3) в выемке и 4) на зашлакованных пучинах. Нулевые места легче сравнимы между собой. Поэтому определение промерзания в них необходимо для установления общей закономерности; определение промерзания в поле имеет целью установить хотя бы приближенную зависимость между промерзанием в естественных условиях и на полотне для возможности суждения о промерзании на полотне по данным метеорологических станций. Определение промерзания в выемках имеет непосредственное отношение к вопросу о шлаковании пучинистых мест.

Начатое в 1931 г. Институтом пути определение глубины промерзания продолжается ежегодно и до настоящего времени, захватывая большую территорию европейской части СССР и Сибири. Результатом этих работ явилась помещенная здесь приближенная карта промерзания полотна железных дорог (см. приложение IV, в конце книги), составленная для нулевых мест железнодорожного полотна.

Промерзание в выемках как правило несколько меньше, а потому при закладке шлаковых подушек надежнее пользоваться именно данными

<sup>1</sup> См. статью И. М. Абрамова в сб. 12 Института пути.

<sup>2</sup> См. статью Г. М. Кондратьева «Определение термических констант паровозного шлака» в сб. 28 Института пути.



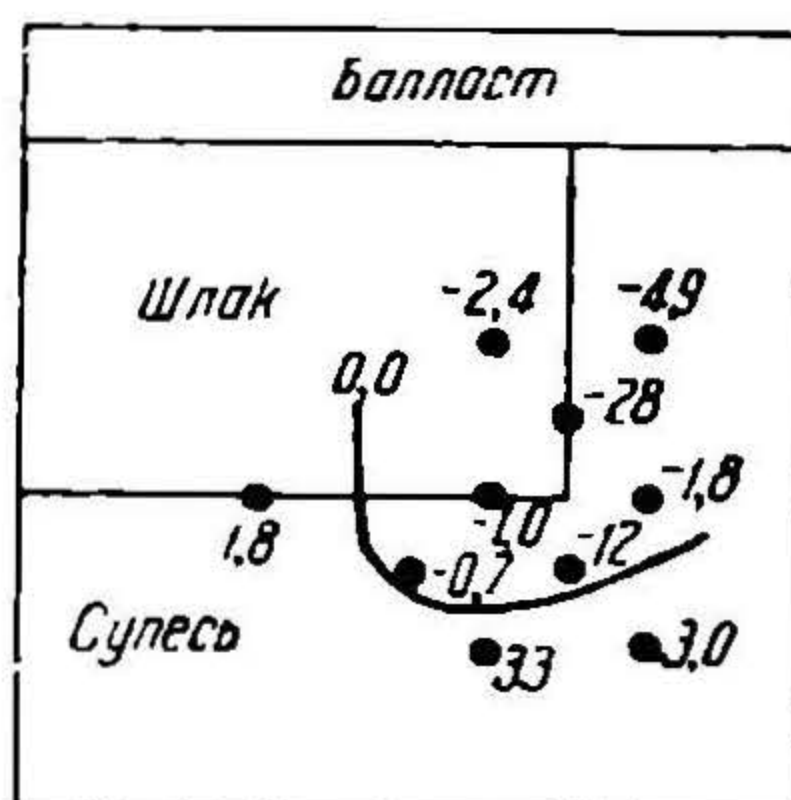
о промерзании нулевых мест. В 1934/35 г. для сравнения промерзаемости полотна железных и грунтовых дорог были исследованы в нескольких пунктах и грунтовые дороги. Данные приводим в ниже-следующей таблице за марта 1935 г.

| Название пункта | Нулевое место ж.-д. полотна  |                         | Грунтовая дорога             |                         | Поле                         |                         | Характер местности |
|-----------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|
|                 | Высота снежного покрова в см | Глубина промерзания в м | Высота снежного покрова в см | Глубина промерзания в м | Высота снежного покрова в см | Глубина промерзания в м |                    |
| Арзамас         | —                            | 1,70                    | Уплотненный снег и лед 19 см | 1,54                    | 11                           | 1,03                    | Ровное поле        |
| Ижевск          | —                            | 0,99                    | Уплотненный снег и лед 33 см | 0,54                    | 55                           | 0,16                    | Поле               |
| Иошкар-Ола      | —                            | 1,43                    | Уплотненный снег 40 см       | 0,61                    | 55                           | 0,00                    | Лес                |

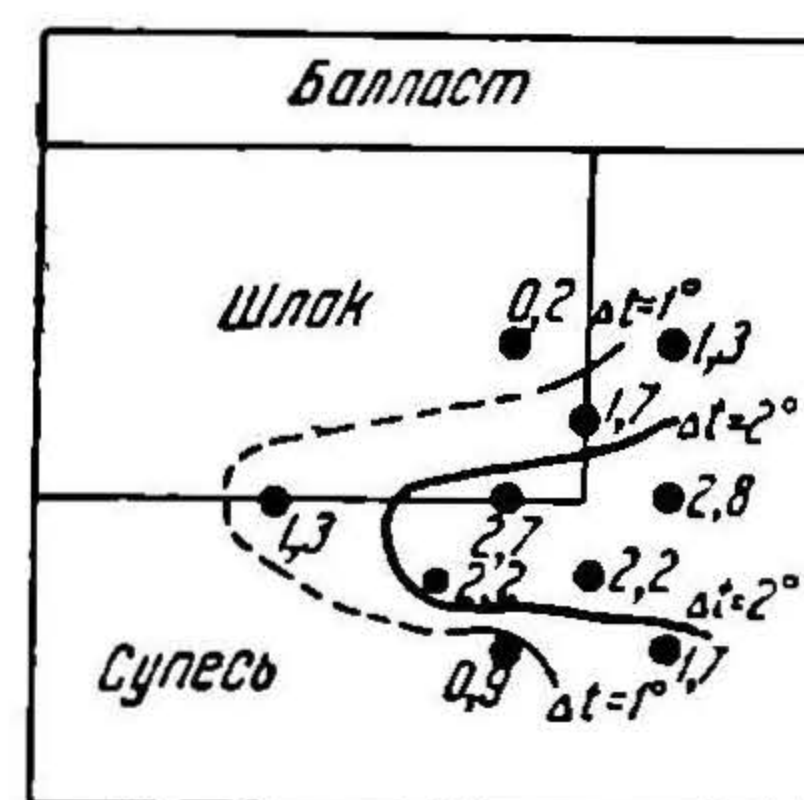
Величина промерзания на грунтовой дороге находится между соответствующими величинами на полотне железной дороги и в поле.

На основании указанных теоретических и лабораторных исследований Институтом пути в 1931 г. было издано информационное письмо § 60 о закладке опытных шлаковых подушек, и последние были заложены на ряде железных дорог. На большинстве дорог результаты получились хорошие, но в некоторых местах было обнаружено промерзание под шлаковой подушкой.

Было высказано предположение о возможности бокового подтока холода. Лабораторное исследование подтвердило это предположение<sup>1</sup>. На фиг. 56 показан вертикальный разрез модели шлаковой подушки при лабораторном исследовании. Снизу и с боков модель была изолирована, так что промерзание шло только сверху. Кружками обозначены места, где были установлены термодары, а цифрами температура. Нулевая изотерма показывает, что промерзание идет именно сбоку от угла. Фиг. 57 дает разность температур ( $\Delta t$ ) за 144 часа. Одна



Фиг. 56. Распределение температур в шлаковой подушке через 281 час. после начала промораживания.



Фиг. 57. Распределение температур в грунте и в шлаковой подушке после 144 часов промораживания.

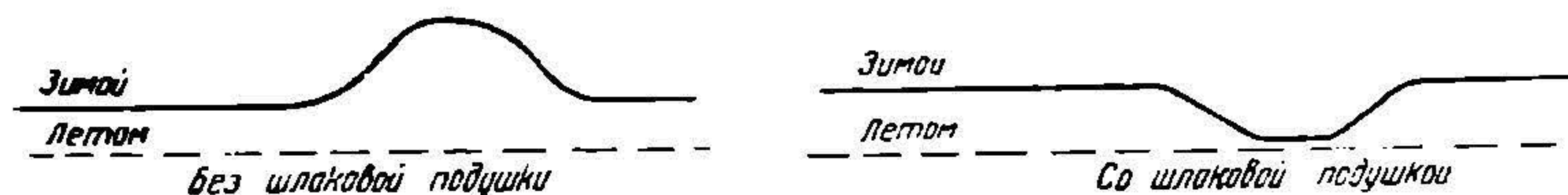
модели шлаковой подушки при лабораторном исследовании. Снизу и с боков модель была изолирована, так что промерзание шло только сверху. Кружками обозначены места, где были установлены термодары, а цифрами температура. Нулевая изотерма показывает, что промерзание идет именно сбоку от угла. Фиг. 57 дает разность температур ( $\Delta t$ ) за 144 часа. Одна

<sup>1</sup> См. ст. Морошинкова В. И. «О влиянии бокового промерзания в шлаковых подушках» в сб. 28 Института пути за 1933 г.



из кривых ( $\Delta t = 1^\circ$ ) соединяет точки, в которых температура изменилась на  $1^\circ$ , другая ( $\Delta t = 2^\circ$ ), в которых температура изменилась на  $2^\circ$ . Вид кривых дает возможность наглядно убедиться в том, что изменение температуры (а следовательно и промерзание) происходит со стороны угла.

На основании полученных результатов в конструкцию шлаковой подушки были внесены изменения, заключающиеся в ее утолщении со сторон бровки железнодорожного полотна и удлинении по оси пути.



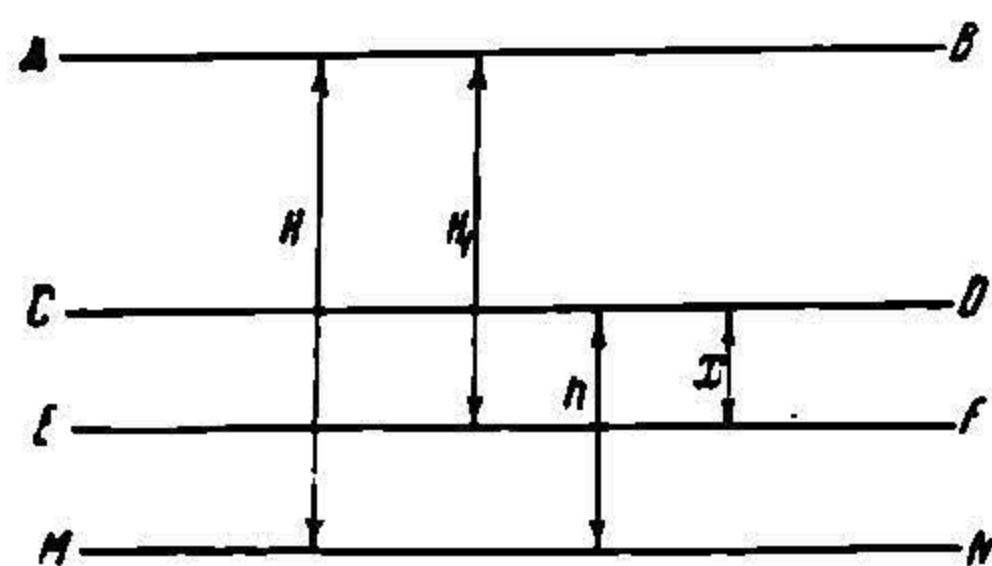
Фиг. 58. Действие шлаковой подушки без отводов при условии общего поднятия полотна зимой (слева — без шлаковой подушки, справа — со шлаковой подушкой). Пунктир — дневная поверхность почвы летом; сплошная линия — дневная поверхность зимой.

На действии опытных шлаковых подушек было обнаружено и следующее явление. В тех случаях, когда наблюдается довольно значительное общее поднятие земляного полотна при зимнем промерзании, на фоне которого выделяются пучинные горбы, при закладке шлаковых подушек на месте горбов получают понижения. Действительно, в месте заложения подушки полотно не поднимается, а соседние места имеют подъем вследствие общего подъема полотна (фиг. 58).

6. Замена пучинистого грунта (глины, грунта с мелкопылеватыми фракциями) песком, гравием — радикальная мера, почти всегда соединяется с отводом воды, однако дорогостоящая, так как требует удаления и замены пучинистого грунта.

7. Просолка грунта в пучинном месте солью ( $\text{NaCl}$ ).

8. Нефтевание грунта в пучинном месте.



Фиг. 59. Схема разреза пучинистого места.

Обе последние меры имеют целью затруднить замерзание грунта в месте образования пучин, а последняя — нефтевание — кроме того изменить и водные свойства грунтов. Меры эти применяются за границей, а у нас ставятся такие опыты на железных дорогах. Нужно заметить, что соль быстро вымывается из грунта.

Смотря по обстоятельствам, можно и комбинировать те или иные меры борьбы с пучинами.

Рациональность применения указанных мер может быть объяснена следующей схемой<sup>1</sup>.

Пусть на фиг. 59  $AB$  — дневная поверхность;  $MN$  — линия уровня грунтовых вод;  $CD$  — уровень капиллярного поднятия воды;  $EF$  — нижняя граница сезонного промерзания. Тогда  $H$  — глубина стояния грунтовых вод;  $H_1$  — глубина промерзания;  $h$  — высота капил-

<sup>1</sup> См. инж. П. Н. Любимов, «Пучины на железных дорогах и меры к их устранению».



лярного поднятия в данном грунте;  $x$  — расстояние, на которое проникло промерзание ниже уровня капиллярного поднятия грунтовой воды.

Из схемы видно, что

$$H = H_1 + h - x,$$

откуда

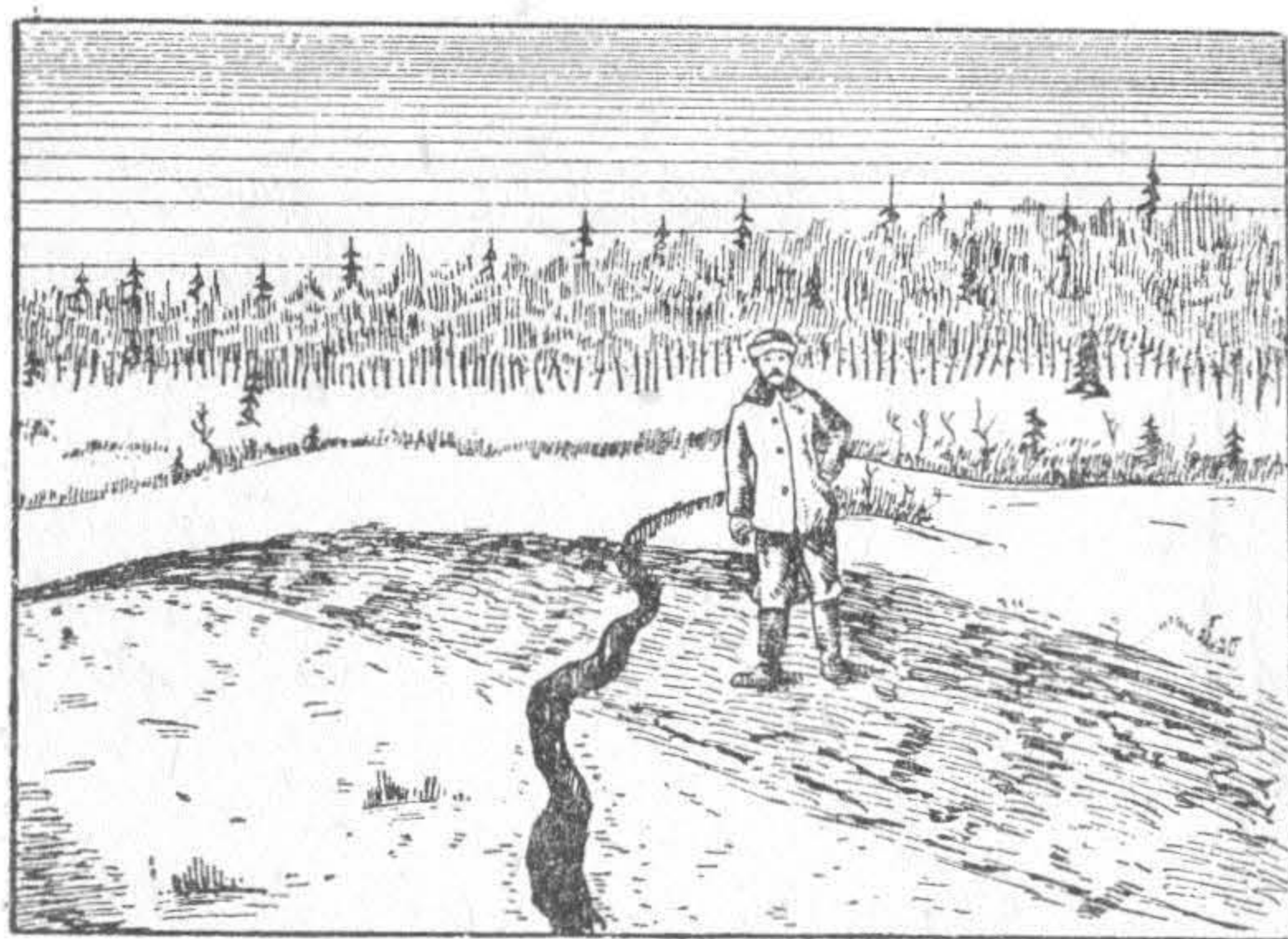
$$x = H_1 + h - H.$$

Величина  $x$  может оказывать существенное влияние на образование пучин. В этом слое легко могут образоваться и накапливаться ледяные прослойки путем капиллярного поднятия воды. Поэтому следует при борьбе с пучинами стремиться довести величину  $x$  до нуля.

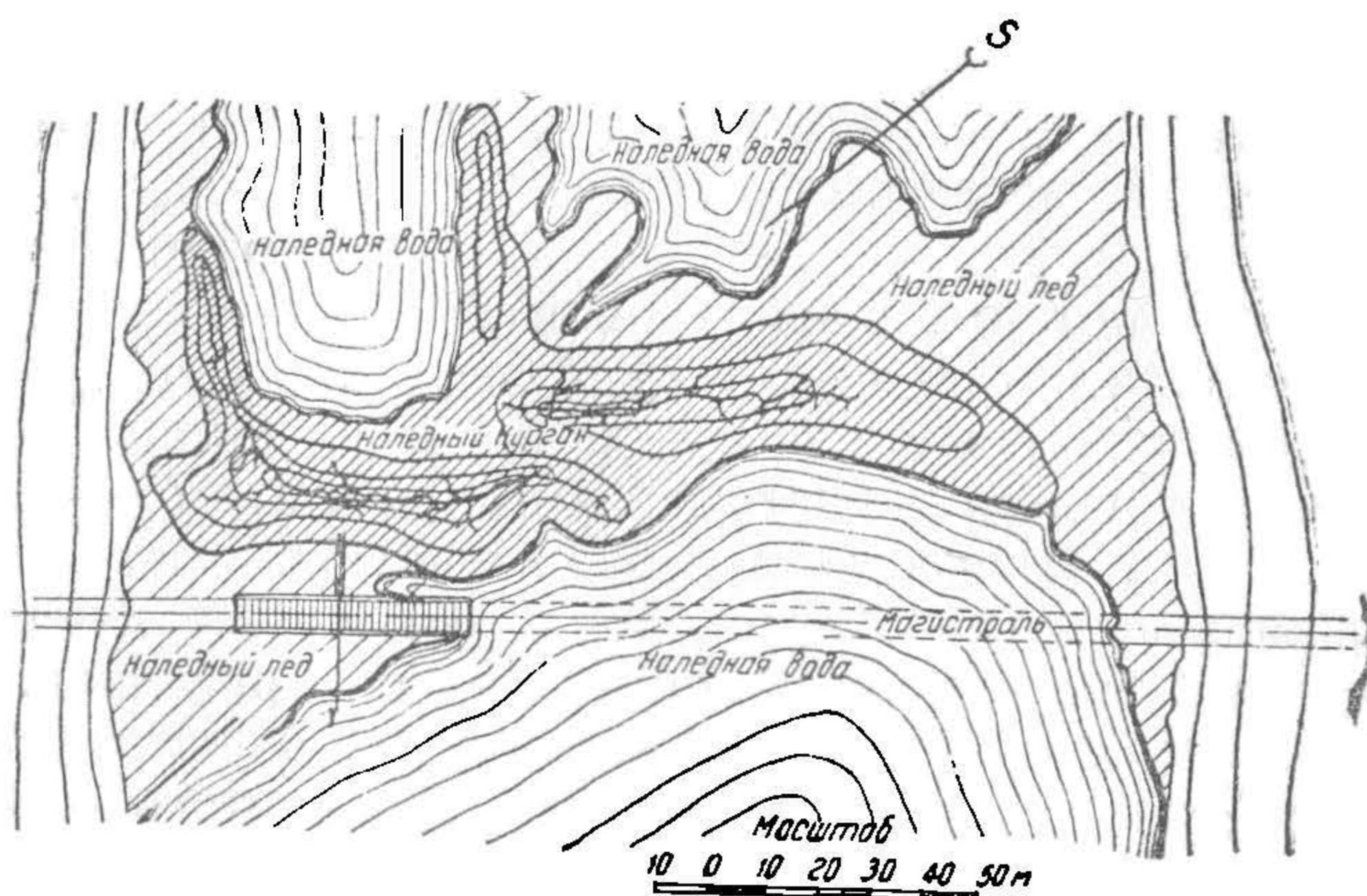
Из уравнения видно, что этого можно достичь тремя способами:

а) Увеличением  $H$  (положив  $H_2 \geq H_1 + h$ ), т. е. понижением уровня грунтовых вод (на схеме понижение  $MN$ , а вследствие этого и  $CD$ ). Это достигается мерами, указанными в п. 3.

б) Уменьшением  $h$  (положив  $H_1 + h \leq H$  или  $h \leq H - H_1$ ), т. е. уменьшением высоты капиллярного поднятия воды (на схеме — понижение линии  $CD$ ). Это достигается заменой пучинистого грунта крупнозернистым, в котором высота капиллярного поднятия меньше (§ 6), а также нефтеванием (§ 8), изменяющим капиллярные свойства грунта.



Фиг. 60. Вид бугра-кургана на речной наледи. Трещина на бугре пересекает дорогу.



Фиг. 61. План наледи, образовавшейся на 169 км Амуро-Якутской магистрали (на р. Ики). Проезд по дороге невозможен. Зима 1927/28 г.

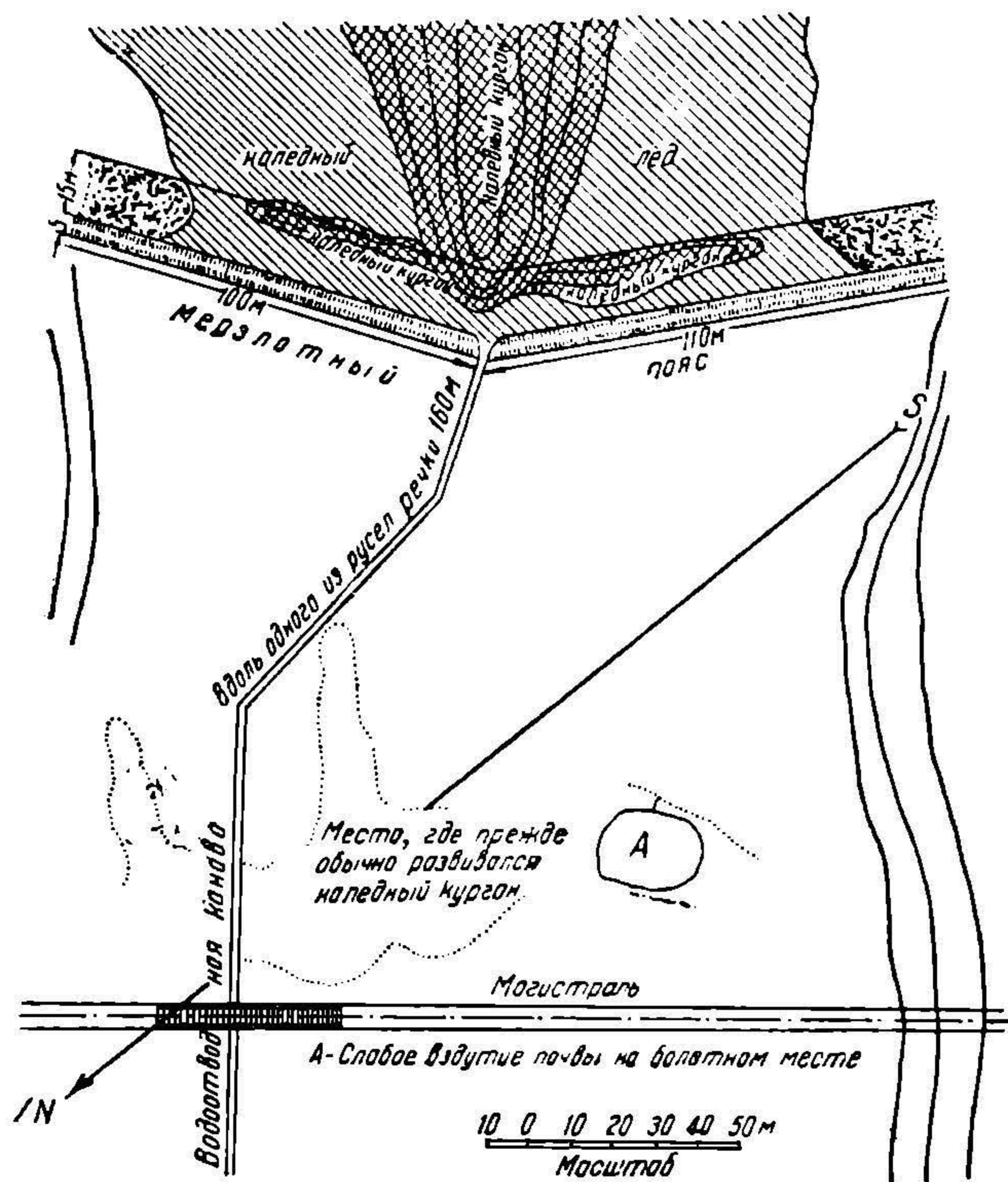


в) Уменьшением  $H_1$  (положив  $H_1 + h \leq N$  или  $H_1 \leq N - h$ ), т. е. повышением нижней границы промерзания (на схеме — повышение  $EF$ ). Это достигается мерами, указанными в § 4, 5 и 7.

9. В связи с новой теорией пучинообразования за последние годы применяется еще один способ борьбы с пучинами — это перевод пучин с одного места на другое при помощи искусственных мер, основанных на гидростатических или гидродинамических процессах, происходящих

в грунтах при их замерзании. Способ этот пока применяется только в области вечной мерзлоты к буграм наледей, которые мы считаем родственными буграм пучин вне области вечной мерзлоты. Теория образования бугров при процессах промерзания почво-грунтов дана выше.

Даем на конкретном примере описание способа борьбы с буграми наледей, как он выработан В. Г. Петровым на Амурско-Якутской магистрали. На 169 км этой магистрали на речке Ики в зиму 1927/28 г. образовалась наледь с буграми возле самой дороги и моста через реку. Наледь мешала проезду по дороге и бугры ее угрожали



Фиг. 62. Мерзлотный пояс на р. Ики. Наледь с бугром и водой отведена от дороги.

разрушением моста, который с трех сторон был окружен наледной водой. Проезд по магистрали в этом месте был чрезвычайно затруднен. На вершинах курганов образовались широкие—до 0,5 м—и длинные трещины. Ниже приводится: фотография одного из курганов и план наледи 1927/28 г. (фиг. 60 и 61). Речку Ики по ее маловодности можно назвать и ручьем. Зимой она промерзает до дна и несет свои воды речными наносами. Долина речки пересекается магистралью, как это видно на плане. Промерзая, магистраль создает барьер для дальнейшего движения воды по речным наносам. Промерзание же почвы создает выше этого барьера напряжение в толще грунта, которое отражается на воде в речниках. Вода ищет выхода и находит его в данном случае около дороги и моста. Если поперек долины речки где-либо выше создать условия для быстрого промерзания почвы, то барьером для воды будет это избранное нами место.



В. Г. Петров предложил в таких случаях выше по реке выкопать канаву некоторой глубины, а рядом с канавой обнажить полосой в несколько метров землю от растительности и частью верхнего слоя почвы (особенно это нужно сделать, если растительностью является мох, а почвы в этом месте болотного и полуболотного типа). Такая канава называется мерзлотным поясом, а обнажение около нее — крылом. Так и было сделано в зиму 1929/30 г. на р. Ики на 169 км магистрали. Был устроен на расстоянии 180—190 м от дороги мерзлотный пояс и при нем крыло, как указано на фиг. 62. Размеры пояса: длина 210 м, ширина вместе с крылом 15 м.

В результате наледь с буграми образовалась выше пояса, а дорога сделалась совершенно свободной для проезда. Остался лишь небольшой бугор в том месте, где на плане стоит буква А, но он был безвреден и для дороги и для моста. Таких мерзлотных поясов было устроено на магистрали в зимы 1928/29 и 1929/30 гг. до двух десятков, все они дали положительные результаты. Конечно, размеры поясов по длине и по ширине должны быть различны в зависимости от условий рельефа местности и от размеров наледи и ее бугров.

Из практики мерзлотных поясов выяснилось, что оставленные без ухода они работают 3—4 года, а затем отказываются работать. Необходимо доработать этот вопрос, испытав покрытие дна канав на лето мхом, снимая его на зиму. На речках с значительным дебитом мерзлотные пояса мало пригодны.

До сих пор мы говорили о борьбе с пучинами на существующих дорогах, где место пучин нам известно из практики. Но следует заботиться о предупреждении появления пучин и на вновь строящихся дорогах. Это дело гораздо труднее, но все-таки отчасти возможно. Если при проектировании трассы встретится грунт с количеством мелкопылеватой фракции (0,01—0,005 мм) 60% и более, стоит принять меры для обхода такого места. Если обход невозможен или дорог, то следует сразу при постройке или повысить насыпь полотна дороги или применить хворостяной или жердевой настил, о чем говорилось выше. В месте, где встретятся указанные пучинистые грунты, следует особенно тщательно проанализировать гидрологические условия и продумать систему канав и вообще дренажных устройств.

НБ  
удунт  
(дпт)



## ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА И НАЛЕДИ

Вечная мерзлота занимает по исчислениям проф. Сумгина 9,5 млн. км<sup>2</sup>, т. е. близко к половине общей площади, занимаемой Союзом. Правда, большинство территории вечной мерзлоты находится в северных, мало обитаемых частях Союза, да и та часть области вечной мерзлоты, которая на Дальнем Востоке спускается до границ наших с Монголией и Китаем, еще пока мало заселена. Но эта малозаселенность имеет большое значение в дорожном отношении: край вечной мерзлоты начинает осваиваться и несомненно в ближайшее время будет освоен, а первыми шагами в освоении области вечной мерзлоты должна быть постройка путей сообщения не только между населенными пунктами, но и там, где населения нет, — это так называемые пионерские дороги (фиг. 63).

Техническая мысль сталкивается в области вечной мерзлоты с оригинальными условиями и явлениями, которых нет вне области вечной мерзлоты и которые создают массу затруднений для дорожной техники.

Вечной мерзлотой называется слой почвы или породы, находящийся на некоторой глубине под дневной поверхностью почвы и имеющий отрицательную температуру непрерывно (во все сезоны года) в течение тысячелетий. На южных окраинах области вечной мерзлоты могут быть случаи, когда слой мерзлого грунта существует и меньший период — до нескольких лет подряд включительно.

Почва, или грунт, лежащая над вечной мерзлотой и ежегодно зимой замерзающая, а летом оттаивающая, называется слоем зимнего замерзания или слоем летнего оттаивания. В последнее время этот слой называется «деятельным слоем».

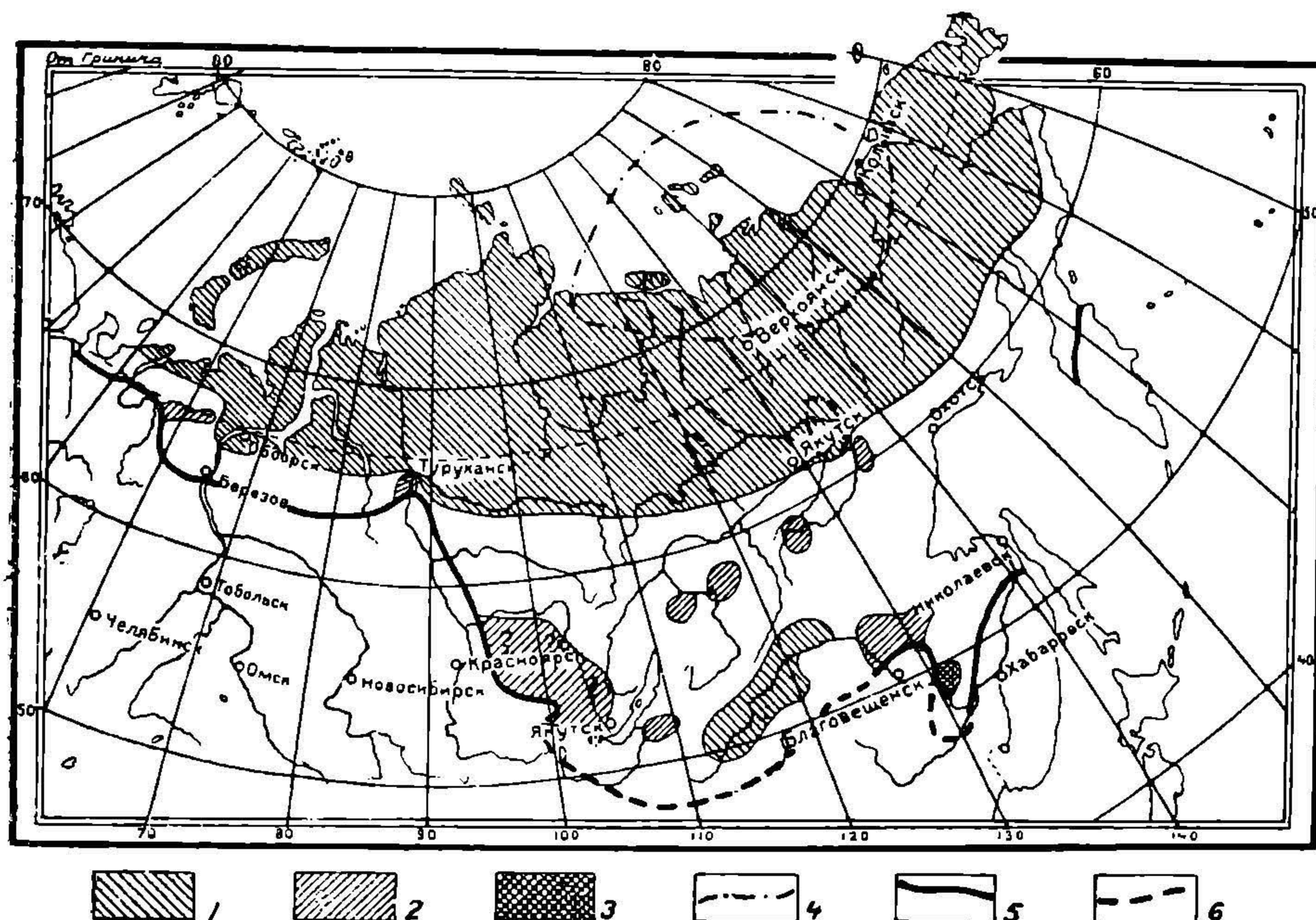
Мощность вечно мерзлого слоя в Забайкалье и бывшей Амурской области измеряется десятками метров (наибольшая Талдан 75 м), а в Якутске она превышает 116 м; в Пустозерске (устье Печеры) — до 20 м.

Мощность деятельного слоя от южной границы до 55 параллели измеряется в грунтах болотноторфяных 80—100 см, а в грунтах песчаных разностей в 3—4 м. На широте Якутска в почвах песчаных разностей — до 2,5 м, наконец на крайнем севере Сибири в грунтах торфяноболотных 20—40 см, а в песчаных до 1,5—1,8 м. Грунты глинистых разностей имеют мощность слоя летнего оттаивания среднюю между мощностями указанных выше двух разностей почв.

Из свойств вечной мерзлоты для дорожника наиболее интересна именно с практической стороны гидрология области вечной мерзлоты. Мощный пласт вечной мерзлоты является водонепроницаемым слоем, и осадки, проникая в почву, задерживаются им и стекают по его рельефу. Грунтовых вод в силу отрицательных температур вечно мерзлого слоя мало — они есть, но их меньше, чем в аналогичных условиях вне области вечной мерзлоты. По Львову, часть водных источников — ювенильного происхождения. Когда с началом зимы почва начинает промерзать с днев-



ной поверхности, воды, находящиеся в слое летнего оттаивания, оказываются заключенными между двумя мерзлыми слоями — вечной мерзлотой внизу и надвигающейся зимней мерзлотой вверху. Это обстоятельство чревато многими последствиями. При известных обстоятельствах между мерзлыми слоями создаются напряжения, которые действуют на воды и на переувлажненные слои грунтов, залегающие на верхней границе вечной мерзлоты. Вода и переувлажненные мелкоземистые грунты воспринимают напряжения, образующиеся между зимней и вечной мерз-



Фиг. 63. Схематическая карта вечной мерзлоты в Евразии. Составил М. Сумгин.

1 — географически сплошная вечная мерзлота; 2 — район вечной мерзлоты с островами талой почвы; 3 — острова вечной мерзлоты среди талой почвы; сюда нужно отнести и район к западу от Байкала; 4 — граница, замыкающая районы с значительными толщами льда в вечно-мерзлой почве; 5 — южная граница вечной мерзлоты; 6 — то же вне пределов СССР.

той, передают их по закону Паскаля (для жидкостей) и в точках наименьшего сопротивления так или иначе деформируют поверхность почвы, на которой образуются и мелкие бугорки, и большие бугры, достигающие нескольких метров высоты. Вода при этом выступает на дневную поверхность почвы иногда в огромных количествах, а так как эти явления происходят зимою, то вода замерзает на поверхности почвы мощными пластами льда — до 2 м толщины. Явления значительных бугров с выступающей на поверхность почвы водой (в некоторых случаях бугры образуются, но вода не выступает) называются наледями. Наледи бывают и на речках и реках области вечной мерзлоты. Наледи от грунтовых вод называются грунтовыми наледями, а от речных — речными.

Наледи являются бедствием на дорогах, деформируя мосты и заливая льдом и деформируя полотно дорог. Достаточно сказать, что на Амуре



Якутской магистрали на протяжении 745 км в зиму 1927/28 г. было 117 наледей, из которых многие сделали дорогу совершенно непроезжей и их пришлось объезжать, что при таежных условиях чрезвычайно затруднительно даже при конном транспорте, а при автомобильном невозможно.

Но кроме таких резких проявлений деформации поверхности почвы в области вечной мерзлоты в виде бугров в несколько метров высоты и значительных площадей льда и воды на поверхности почвы мы и при обыкновенном замерзании почвы имеем в некоторых местах ежегодное зимнее поднятие почвы вследствие ее промерзания, а затем летом опускание вследствие таяния — явление пульсации почвы. Дело в том, что там, где почва под зиму уходит увлажненной почти, а иногда и совсем, до полной влагоемкости (как например в некоторых местах бывшей Амурской области), при замерзании почва эта расширяется и дневная поверхность ее поднимается, как теоретически подсчитано, примерно на 5 см. Летом она настолько же садится (теоретические расчеты были сделаны по данным для почвы на метеорологической станции Гош, бывшей Амурской области). Поставленные специальные опыты подтвердили эти теоретические соображения: в Забайкалье пульсация почвы по опыту измеряется 5—12 см. Нужно отметить, что явление пульсации почвы в области вечной мерзлоты в такой резкой форме зависит главным образом от суровости климата этого края.

С отрицательными явлениями на дорогах в области вечной мерзлоты приходится встречаться как западнее Байкала, так и восточнее его. Были поставлены специальные исследования для выработки научных оснований для борьбы с вредным влиянием вечной мерзлоты, и в отношении борьбы с наледями в первом приближении найдены практические меры.

Что касается выпучивания мостовых свай, вопрос в общем виде пока еще остается открытым, теория этого вопроса мало разработана. Однако общие принципы выпучивания свай в настоящее время установлены. Они заключаются в следующем. При замерзании почва смерзается со свай. Смерзание происходит на всю глубину деятельного слоя. Но замерзание почвы сопровождается пучением, т. е. поднятием ее поверхности. Так как почва смерзается со свай, то при своем поднятии она стремится поднять и сваю. Но нижняя часть сваи загружена или в талый грунт или же в вечную мерзлоту. Следовательно выпучиванию сваи в первом случае противодействует трение нижней части сваи о талый грунт; во втором случае — силы смерзания нижней части сваи с вечной мерзлотой. Получаются растягивающие усилия: одна сила тянет сваю вверх, другая — противодействует этому. Если первая сила больше, то свая выпучивается, если меньше — свая остается на месте. В специальной литературе указываются величины сил смерзания дерева и бетона с грунтом. Оказывается, что силы смерзания зависят от характера грунта, от влажности его и температуры.

Чтобы помочь инженеру, геофизик должен дать числовую характеристику указанным трем слагающим пучения: грунту (определив его механический состав и физико-механические свойства); влажности деятельного слоя грунта и тех слоев вечной мерзлоты, в которые свая будет заглублена, и температурным условиям как деятельного слоя, так и верхних слоев вечной мерзлоты. Кроме того геофизик должен обследовать местность, где предполагается возводить сооружение, чтобы определить,



можно ли ожидать пучения на месте сооружения и как интенсивно будет это пучение.

Учтя силы смерзания грунта как деятельного слоя, так и вечной мерзлоты со сваей, а также условия пучения, — инженер должен сделать расчет заглубления свай в вечно мерзлый грунт. Как техническая подробность, из сказанного вытекает, что сваи должны быть цельными, а не составленными из двух или нескольких частей, так как растягивающие усилия, действующие на сваю, будут разрывать ее именно в местах стыка.

Вопрос о деформации мостов в области вечной мерзлоты является весьма существенным. Обычно наледный бугор появляется на реке рядом с мостом с той стороны, откуда течет река. В результате бугрообразования мост несколько перекашивается. Когда летом бугор оседает, сваи или ряжи моста не возвращаются в первоначальное положение. В следующие годы явление наледи повторяется и деформация моста усиливается до того, что езда по мосту становится затруднительной. Иногда наледями поднимаются средние сваи или устои моста и он делается «горбатым». В отдельных, правда редких, случаях, наледный бугор около моста под влиянием гидростатических сил взрывается и мост уничтожается. Так было с мостом на р. Ононе на Амуро-Якутской магистрали в зиму 1927/28 г., когда наледный бугор 28 марта 1928 г. взорвался, громадные глыбы льда и мерзлой почвы с огромной силой понесли вместе с водным потоком, выступившим из бугра, и сломали до основания деревянный мост через р. Онон.

НБ  
удунт  
(ДІІТ)



# РАСПУТИЦА И ДОРОЖНО-СИНОПТИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

## I. Влияние метеорологических условий на проезжаемость грунтовых дорог и явление распутицы

Зависимость состояния грунтовых дорог, следовательно и степень их проезжаемости, от условий погоды хорошо известна дорожным работникам. В различных климатических и почвенных районах Союза эта зависимость выражается в разной степени, и доминирующее влияние в разных районах имеют различные метеорологические элементы.

Некоторые комплексы метеорологических условий вызывают очень значительное ухудшение состояния грунтовых дорог, иногда до полной их непроезжаемости. Эти случаи ухудшения проезжаемости дорог под влиянием условий погоды, при достаточно сильном или длительном проявлении, болезненно отзываются на народном хозяйстве иногда значительных районов, внося более или менее сильное расстройство грузооборота.

Наиболее резким проявлением влияния условий климата и погоды на проезжаемость дорог являются распутицы, поражающие в различные периоды года дороги огромных территорий. В эти периоды, продолжающиеся в некоторых районах зачастую очень длительное время, внутренний грузооборот страны испытывает сильнейшие затруднения, крайне тяжело отражающиеся на всем народном хозяйстве. По данным Госплана убытки, испытываемые народным хозяйством от распутицы на грунтовых дорогах, достигают значительных размеров.

Огромные размеры убытков заставляют с большим вниманием отнестись к этим явлениям и изыскать возможности хотя бы некоторого уменьшения убытков путем соответствующего планирования перевозок. Естественно, что плановый учет возможен лишь на основании специального изучения этих явлений.

На влияние того или другого метеорологического элемента на состояние грунтовых дорог уже указывалось.

Главным врагом хорошего состояния полотна грунтовых дорог в большей части территории Союза является вода. Избыток воды в полотне дороги ведет к размоканию грунта, к образованию более или менее толстого слоя грязи и к потере полотном несущей способности. От этого проезжаемость дороги, которую К. М. Бенуа определяет, как величину, обратно пропорциональную мощности двигателя, необходимой для продвижения данного полезного груза с определенной скоростью, ухудшается вследствие сильного увеличения трения колес экипажа.

Особенно сильно процесс уменьшения несущей способности полотна развивается на дорогах, полотно которых состоит из глинистых грунтов, плохо дренирующих воду. В грунтах хорошо дренирующих воду, то же



количество воды в однородных условиях вызывает меньшее ухудшение проезжаемости дороги и на более короткое время.

Метеорологические условия, при которых на полотно дороги выпадает большее или меньшее количество воды, вызывают различный эффект на дорогах различных почвенно-грунтовых условий, проходящих по местностям разного характера и находящихся в различном техническом состоянии. Для изучения зависимости проезжаемости дорог от условий погоды необходимо подробно учитывать эти элементы дорог, которые К. М. Бенуа называет «постоянными элементами» данной дороги или какого-нибудь ее участка.

Но не только эти постоянные элементы играют роль: существенное значение для результатов действия какого-либо количества воды на полотно дороги имеет и самое состояние полотна перед выпадением этой воды (атмосферных осадков, таяния снега). При сильно просохшем полотне известное количество воды может быть сравнительно безболезненно воспринято дорогой; при достаточной же предварительной насыщенности водой то же ее количество может вызвать уже значительное пересыщение и образование грязи. Наконец условия погоды существенно влияют на продолжительность задержки воды в полотне, так как обуславливают более или менее быстрое испарение ее.

Вода попадает на полотно дороги обычно в связи с выпадением атмосферных осадков (дождей, снега и т. п.) или от таяния снегового покрова. Испарение воды с полотна дороги находится в зависимости, как мы знаем, от температуры и влажности воздуха и от ветра. Невыгодное сочетание этих условий, т. е. низкая температура, высокая относительная влажность, слабый ветер, обуславливая медленное испарение воды с полотна, способствует более длительному продолжению периода плохой проезжаемости дорог.

В летний сезон невыгодные сочетания метеорологических условий (имея в виду большую часть территории Союза), связанные с циклоническим режимом погоды, вообще редко устанавливаются на продолжительное время. Обычно через несколько дней условия погоды улучшаются, и просыхание полотна ускоряется.

В осеннее же время выпадение дождей обычно сопровождается таким комплексом условий в течение длительных периодов. При этом состояние полотна иногда ухудшается настолько, что транспортировка грузов по дороге и всякое пользование ею должно прекращаться. Этот период значительного ухудшения проезжаемости дорог, связанного с осенними условиями погоды, и называется осенней распутицей. Обычно период осенней распутицы тянется до наступления зимы, когда образование достаточного снегового покрова превращает дороги в санные.

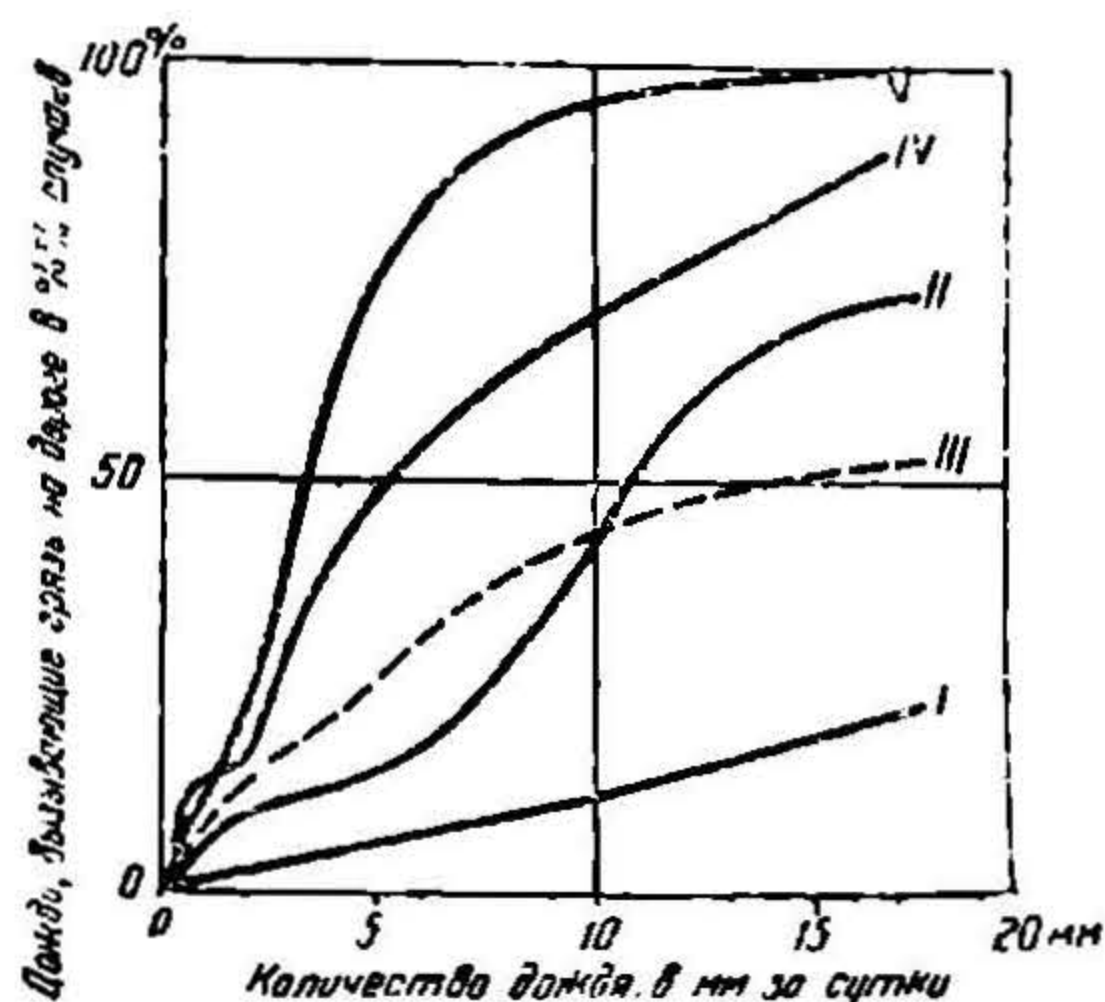
Другой сезон распутиц является следствием весеннего таяния снегового покрова на полотне дороги. Обычно сток талой воды частично затруднен наличием снега на обочинах дороги, за просачиванию в землю мешает еще замерзшее состояние более глубоких слоев полотна. Испарение в это время обычно еще слабо, вследствие высокой относительной влажности воздуха. При антициклоническом характере погоды дневное нагревание несколько усиливает испарение, ночь же заморозки задерживают удаление воды с полотна. При циклоническом характере весны пересыщение полотна водой обуславливается высокой влажностью воз-



духа и выпадающими осадками. Однако, постепенное общее повышение температуры способствует увеличению испарения и оттаиванию нижних слоев полотна. В результате степень насыщенности полотна водой уменьшается, и дороги постепенно просыхают. Период весенней распутицы также достаточно продолжителен и местами сопровождается полной непроезжаемостью дорог.

Распутицы охватывают постепенно огромные территории Союза, начинаясь осенью обычно с севера и распространяясь на юг и юго-восток, в связи с общим распространением осенних условий погоды. Весенняя распутица начинается обычно на юго-западе и юге и постепенно распространяется на северо-восток, в связи с общим распространением нулевой изотермы.

В крайних южных районах Союза нередко периоды осенней и весенней распутицы непосредственно переходят один в другой. Получается



Фиг. 64. Влияние дождей на дороги различных почвенно-грунтовых групп. Цифры при кривых означают группы дорог из таблицы на стр. 131.

общий период распутицы, который можно назвать «зимней распутицей.» В других случаях, после установления в начале зимы санного пути на некоторое время, продолжительные зимние оттепели вызывают таяние снега и образование грязи на дорогах на продолжительный период, опять сменяющийся установлением снегового покрова. Такой период также может быть назван зимней распутицей. В других климатических районах, как например на Дальнем Востоке, распутица обычно связана с периодом обильных летних муссонных дождей и может быть названа «летней распутицей». Наконец в условиях южных песчаных и лессовых районов, отличающихся большим недостатком влаги, можно выделить длительные периоды очень плохой

проезжаемости дорог в теплое полугодие, вследствие сильнейшего пересыхания и распыления полотна дорог от длительного отсутствия дождей. В тех климатических районах эти периоды являются периодами своего рода «распутицы», но уже «сухой» или «пыльной распутицы».

Таким образом длительные периоды плохой проезжаемости дорог, вплоть до полной непроезжаемости их, известные под названием распутиц, тесно связаны с климатическими и с почвенно-грунтовыми условиями нашего Союза, а также с развитием атмосферных процессов в данный период в определенном районе.

Приводимая таблица V (см. приложение в конце книги) показывает, как значительно меняются из года в год в разных районах как начало и конец, так и продолжительность периодов распутицы. Из этих данных видно, что вообще осенняя распутица отличается большей продолжительностью, чем весенняя; иногда период распутицы продолжается 2—3 месяца; в северных районах вообще распутицы продолжительнее, чем в южных.

В летнее время порча проезжаемости дорог, вследствие образования грязи от дождей, для дорог определенных почвенно-грунтовых характери-



стик зависит в первую очередь от предшествующего состояния полотна и от количества выпавших осадков. Обработка соответствующих материалов наблюдений над проезжаемостью дорог после выпадения дождей, произведенная в дорожно-синоптической секции Центрального бюро погоды Б. Г. Ивановым, привела к очень интересным выводам: всего разобрано было 8697 случаев выпадения дождей разной интенсивности за 3 года на 54 наблюдательных пунктах в различных районах европейской территории Союза. Общий результат разработки графически представлен на диаграмме (фиг. 64), характеризующей группы дорог по их зависимости от дождей различной силы, выпавших на сухую и хорошо проезжаемую дорогу. Дороги были разбиты на группы, характеризующиеся следующими почвенно-грунтовыми условиями:

| Группы<br>дорог | Число<br>дорог | Преобладающий<br>грунт                    | Тип почвы                                                         |
|-----------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| I               | 7              | Песок и супесь (или<br>улучшенные песком) | Подзолистый (6 дорог из 7)                                        |
| II              | 9              | Супесь и песок                            | Подзолистый (5 дорог)<br>черноземный (4 дороги)                   |
| III             | 11             | Преимущественно<br>суглинок               | Черноземный (6 дорог)<br>подзолистый (5 дорог)                    |
| IV              | 16             | Суглинок                                  | Черноземный и каштано-<br>вый (8 дорог); подзолистый<br>(8 дорог) |
| V               | 11             | Глина и суглинок                          | Черноземный (10 дорог)                                            |

Из графика (фиг. 64) видно, что дороги V группы наиболее подвержены образованию грязи от дождей; выпадение за сутки 5 мм осадков примерно в 75% случаев вызывает образование грязи (плохую проезжаемость).

В зимнее время при наличии снегового покрова степень проезжаемости дорог изменяется в зависимости от выпадения снега, от развития метелей, поземков или же вследствие оттепелей. Ввиду трудности вести систематическую борьбу со снегом на многих сотнях тысяч километров наших безрельсовых дорог, влияние этих условий на степень проезжаемости санных дорог существенно отзывается на местных перевозках.

При ясно выраженной зависимости состояния дорог (степени их проезжаемости) от условий погоды и огромного народнохозяйственного значения этой зависимости, естественно возникает вопрос о необходимости предвидения изменений степени проезжаемости дорог в разных районах как краткосрочного характера, так и времени наступления и окончания и степени распутицы в осенние и весенние периоды. Такие прогнозы, основанные на прогнозах погоды, дадут возможность соответствующего планирования перевозок по грунтовым дорогам и связанных с ними перевозок грузов по другим путям сообщений как в крупном государственном



и областном масштабе, так и для мелких районов и отдельных хозяйственных и транспортирующих организаций — в местном масштабе и таким образом снизят огромные убытки народного хозяйства.

## 2. Организация, методы и задачи дорожно-синоптической работы

Разработка методики прогнозов проезжаемости дорог возможна лишь на основе изучения специально собранных материалов, дающих возможность систематического сопоставления степени проезжаемости дорог с условиями погоды, с учетом всех влияющих на это факторов.

Такая систематическая работа была предпринята в 1927 г. Главной геофизической обсерваторией при поддержке центральных дорожных органов, сперва в виде опыта, а затем, по выяснении удовлетворительных результатов, — и в более широком масштабе.

Работа эта получила название «Дорожно-синоптической службы», и возглавляется дорожно-синоптической секцией, входящей в систему единой гидрометеорологической службы Союза.

Под руководством секции на территории Союза при метеорологических станциях организовано несколько сот специальных наблюдательных пунктов, ведущих систематические наблюдения над проезжаемостью нескольких типичных дорог, с различной грузонапряженностью.

Наблюдения степени проезжаемости дорог в отношении типичного местного экипажа пока производятся лишь качественно по личной оценке наблюдателя и по оценке лиц, проезжающих по дороге; согласно специальной инструкции для дорожно-синоптических пунктов регистрируется и максимальная полезная нагрузка экипажа. Для оценки степени проезжаемости дорог выработана специальная шкала, связывающая степень проезжаемости с обусловившей ее метеорологической причиной (таблица VI, в конце книги); отмечается и характер изменения степени проезжаемости (тенденция). В книжку наблюдений записывается и состояние за сутки метеорологических элементов, влияющих на проезжаемость.

Результаты наблюдений по истечении месяца высылаются в областные гидрометеорологические органы и в Центральную Дорожно-синоптическую секцию в Ленинграде, где они подвергаются специальной научной разработке, имеющей конечной целью выработку методики дорожно-синоптических прогнозов. Данные о распутицах и о влиянии дождей на дороги заимствованы из опубликованных результатов обработки этих материалов в статьях К. М. Бенуа и Б. Г. Иванова.

Для удобства обработки ежедневные оценки проезжаемости всех наблюдаемых на данной станции участков дорог по шкале проезжаемости наносят условной расцветкой на специальный график. На нем же наносят и данные метеорологических наблюдений. По этим графикам нетрудно делать сопоставления изменений проезжаемости дорог с метеорологическими условиями. Точно так же можно определять даты начала, конца распутиц, переходы их из одной стадии в другую, общую продолжительность. Таким образом собирается климатологическо-дорожный материал, на котором исследуются законы воздействия условий погоды на дороги в разных районах и изыскиваются методы дорожно-синоптических прогнозов. Для выработки методики краткосрочных прогнозов проезжаемости грунтовых дорог необходимо установить достаточно надежную



зависимость между количественными выражениями условий погоды и изменениями проезжаемости дорог различных почвенно-климатических условий и различного состояния. Выработка методики долгосрочных прогнозов распутиц представляется сложнее и требует материалов за достаточно продолжительные периоды. В результате обработки материалов о распутицах составляются их подробные характеристики.

На фиг. 65 и 66 приведены вырезки из карты изохрон начала осенней распутицы 1929 г. и продолжительности ее в днях.

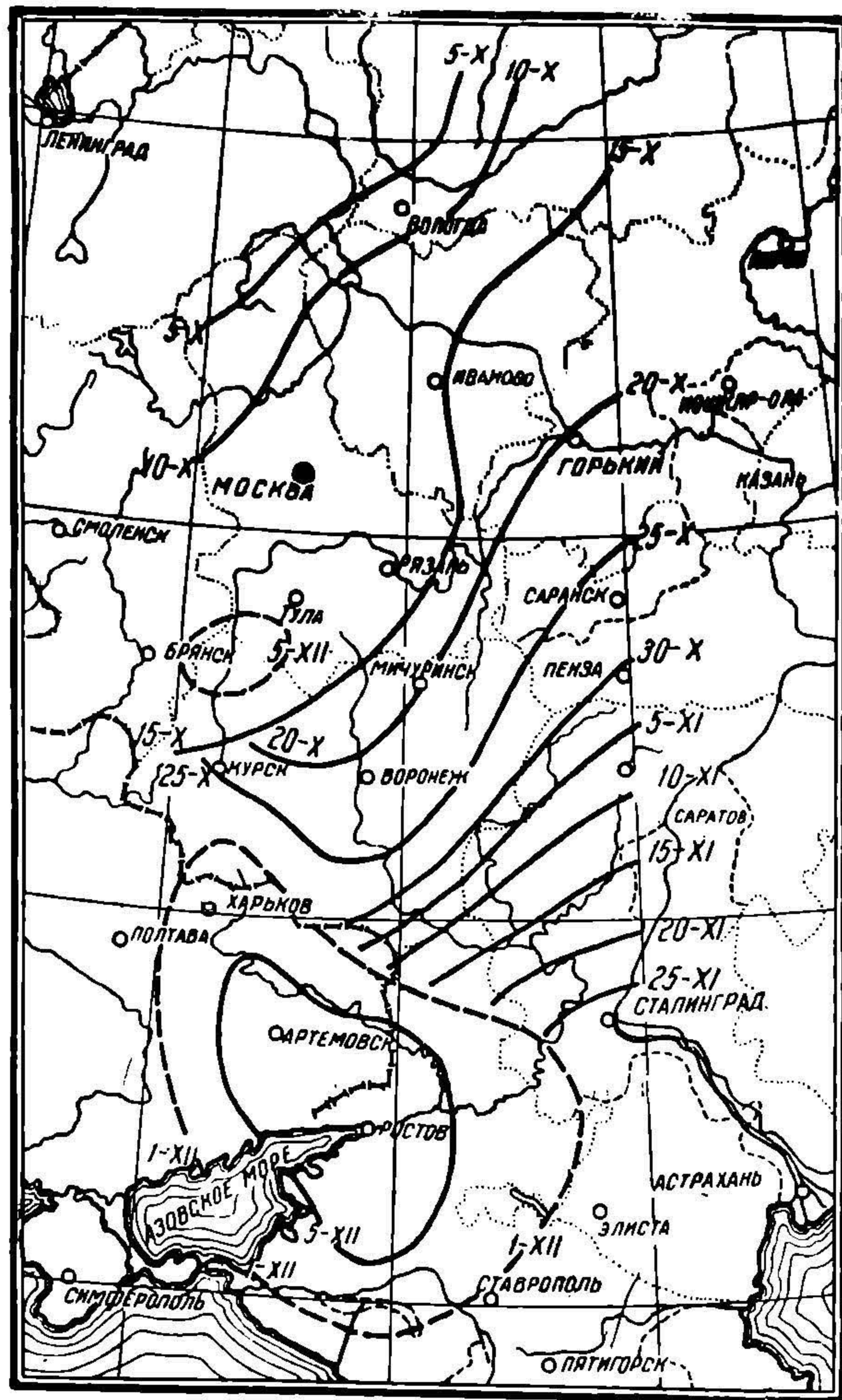
На первой карте (фиг. 65) видно, что раньше всего распутица началась на северо-западе европейской территории Союза и постепенно захватывала эту территорию в направлении на юго-восток; в некоторых районах в центре начало распутицы задержалось (влияние почвенно-грунтовых условий) и наступило почти одновременно с южными районами.

По второй карте (фиг. 66) можно видеть резкую разницу в продолжительности периода распутицы на северо-западе и в центре, с одной стороны, и в южной полосе — с другой стороны. Между прочим надо отметить, что разнообразие местных условий дорог порождает часто значительную разрывность в изолиниях на картах, характеризующих распутицы, не свойственную другим климатологическим картам.

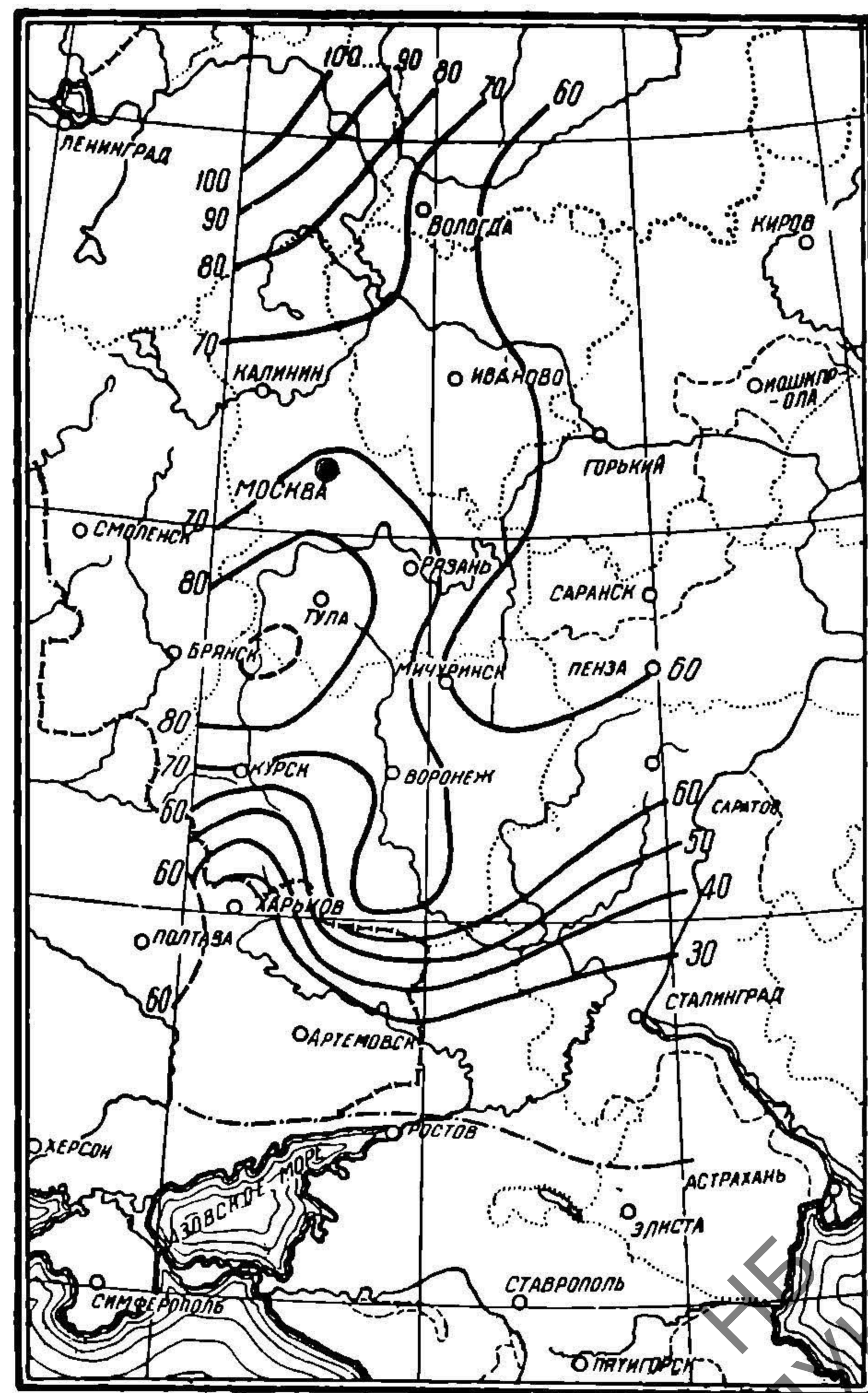
Помимо статистической обработки дорожно-синоптических материалов, в настоящее время как в Москве, так и в республиканских, краевых и областных центрах местными бюро погоды ведется систематическая дорожно-синоптическая работа. Цель ее — осведомление дорожных и других заинтересованных в транспортировке грузов, хозяйственных органов о текущем состоянии грунтовых дорог на территории Союза, республики или области. Для этого наблюдательные дорожно-синоптические пункты ежедневно посылают соответствующим бюро погоды результаты наблюдений над степенью проезжаемости двух определенных дорог в 7 час. утра данного дня, в виде краткой шифрованной телеграммы.

Эти сведения из телеграммы наносят в бюро погоды на бланковую карту; затем на карте проводят приблизительные границы районов с одинаковой проезжаемостью дорог. Такая дорожно-синоптическая карта дает представление о проезжаемости дорог в данный день в разных районах освещенной территории и может быть использована хозяйственными организациями для различных практических целей (например контроль перевозок). Естественно, что чем гуще сеть наблюдательных пунктов, тем подробнее карта. Сопоставляя между собой ряд таких карт, легко проследить изменения проезжаемости дорог в интересующем районе. Сопоставляя их с картами погоды, можно проследить влияние условий погоды на проезжаемость. Для чисто информационных целей (учет условий перевозок) на карте достаточно выделять только районы однородной степени проезжаемости, без указаний на физические причины наблюдаемой проезжаемости. Такие карты раскрашивают или заштриховывают шестью различными способами, соответственно принятым грациям степени проезжаемости. На карте № 5 (см. приложение, в конце книги) дана проезжаемость за 28 марта 1934 г. (период весенней распутицы). На ней видно, что в это время на востоке и севере европейской территории Союза еще держался хороший санный путь; в широкой же полосе с северо-запада через центральные области на низовья Волги весенняя распутица была в разгаре: неправильными





Фиг. 65. Изохроны начала осенней распутицы 1929 г. (по Бенуа).



Фиг. 66. Продолжительность осенней распутицы 1929 г. в днях (по Бенуа).



полосами расположены районы уже плохого санного пути, плохой проезжаемости как на санях, так и на колесах, плохой проезжаемости на колесах (движение на санях уже исключено); между ними вкраплены более или менее значительные районы преимущественно непроезжаемых дорог; в это же время в южной полосе распутица уже кончалась — дороги хорошо проезжаемы на колесах. Надо отметить, что далеко не каждый год ход распутицы протекает так географически закономерен.

Для целей научной разработки дорожно-синоптических материалов карты проезжаемости составляются в подробном виде, с указанием физических причин, обусловивших данное состояние дороги. На карте 6 (см. приложение, в конце книги) приведена та же самая карта в этой подробной интерпретации (по 20-балльной шкале проезжаемости)<sup>1</sup>.

Сравнивая обе карты, видим, что зоны плохой проезжаемости на санях могут быть разбиты на районы с различными причинами плохой проезжаемости: вследствие недостатка снега, вследствие таяния снега, вследствие залегания снега сугробами (очевидно после метели). Так же и в зоне плохой проезжаемости на колесах последняя обусловлена различными причинами — грязь вызвана или таянием или прошедшими дождями (очевидно после того, как дорога уже просохла от таяния снега или оттаивания полотна). Такие подробные карты дают возможность полного анализа процессов распутицы.

Как видно из сказанного, научное изучение вопросов влияния погоды на грунтовые дороги находится еще в первой стадии своего развития. До сих пор ведутся только качественные наблюдения над проезжаемостью, изыскиваются методы научного анализа материалов и методы инструментальных наблюдений. Вводятся в виде опыта измерения колеи-ности полотна и глубины увязания колес в грязи.

В числе ближайших задач дорожно-синоптической службы, помимо указанных выше, можно указать на необходимость широкого развития количественных (инструментальных) наблюдений, исследовательских работ для получения переводных коэффициентов от наблюдаемой проезжаемости для типичного местного экипажа — к другим, главным образом — машинным экипажам разного тоннажа и скоростей, выяснение зависимости изменений степени проезжаемости от напряженности движения по дорогам, детализация оценки «плохой проезжаемости» и увязка ее с динамометрическими показателями и ряд других. Более отдаленными по времени задачами, ввиду необходимости для этого накопления материалов за достаточно продолжительный период, стоят задачи установления «нормальных» сроков наступления и окончания распутиц, их различных стадий и продолжительности.

Все эти работы конечно должны проходить при участии оперативных и исследовательских дорожных органов и других потребителей дорожно-синоптической продукции для обеспечения возможно более полного учета практических запросов народного хозяйства.

---

<sup>1</sup> Такие карты для работы составляются в красках. В книге краски заменены штриховкой.



Таблица средних температур воздуха для станций, расположенных по различным меридианам

| Название станций      | Широта | Долгота | Январь                        | Июль | Год   | Ампли-туда | Последний мороз | Первый мороз | Число дней безморозного периода |
|-----------------------|--------|---------|-------------------------------|------|-------|------------|-----------------|--------------|---------------------------------|
| Кола .                | 68°53' | 33°01'  | — 11,5<br>(февраль)           | 12,5 | — 0,7 | 24,1       | 6/VI            | 7/XI         | 92                              |
| Кимао-озеро .         | 64°25' | 31°07'  | — 11,6<br>— 11,3<br>(февраль) | 15,5 | — 0,8 | 26,9       | —               | —            | —                               |
| Ленинград .           | 59°56' | 30°16'  | — 11,4<br>— 7,6<br>(февраль)  | 17,5 | 4,1   | 25,2       | 5/V             | 9/X          | 156                             |
| Новгород .            | 58°31' | 31°18'  | — 7,7                         | 17,6 | 4,0   | 26,0       | —               | —            | —                               |
| Великие-Луки .        | 56°21' | 30°31'  | — 8,4                         | 17,7 | 4,8   | 25,4       | 6/V             | 29/IX        | 145                             |
| Киев .                | 50°27' | 30°30'  | — 7,7                         | 19,3 | 6,9   | 25,3       | 22/IV           | 14/X         | 174                             |
| Одесса .              | 46°29' | 30°44'  | — 6,0                         | 22,6 | 9,9   | 25,7       | 5/IV            | 30/X         | 174                             |
| Соловец .             | 65°01' | 35°45'  | — 9,9<br>(февраль)            | 12,4 | 0,5   | 22,7       | 1/VI            | 3/X          | 123                             |
| Вытегра .             | 61°00' | 36°27'  | — 10,3                        | 16,9 | 2,4   | 27,9       | 23/V            | 17/IX        | 116                             |
| Москва (Тим. акад.) . | 55°50' | 37°33'  | — 11,0                        | 18,0 | 3,6   | 28,8       | 17/V            | 25/IX        | 130                             |
| Харьков .             | 50°04' | 36°09'  | — 10,8                        | 20,6 | 6,7   | 28,3       | 5/V             | 25/IX        | 142                             |
| Бердянск .            | 46°38' | 36°46'  | — 7,7                         | 24,6 | 9,9   | 28,2       | 1/IV            | 8/XI         | 220                             |
| Феодосия .            | 45°2'  | 35°24'  | — 4,0                         | 23,8 | 11,6  | 23,8       | 30/III          | 10/XI        | 163                             |
| Мюзенъ . .            | 65°50' | 44°16'  | — 0,0                         | —    | —     | —          | —               | —            | —                               |
| Великий Устюг .       | 60°46' | 46°18'  | — 14,7                        | 13,6 | — 1,6 | 28,3       | 15/VI           | 2/IX         | 78                              |
| Нижний-Новгород .     | 56°20' | 44°0'   | — 14,0                        | 17,8 | 1,4   | 31,8       | —               | —            | —                               |
| Камышин .             | 50°5'  | 45°24'  | — 12,2                        | 19,4 | 3,6   | 31,6       | 4/V             | 1/X          | 149                             |
|                       |        |         | — 10,8                        | 24,0 | 6,6   | 34,8       | —               | —            | —                               |



|                       |        |         |                     |                          |        |      |        |         |     |
|-----------------------|--------|---------|---------------------|--------------------------|--------|------|--------|---------|-----|
| Владикавказ .         | 41°42' | 44°41'  | — 4,4               | 20,4                     | 8,4    | 24,8 | 14/IV  | 22/X    | 180 |
| Тифлис .              | 43°3'  | 44°48'  | 0,1                 | 24,2<br>(август)<br>24,6 | 12,6   | 24,5 | 29/III | 11/XI   | 226 |
| Малые Кармакулы .     | 72°25' | 52°43'  | — 15,1              | 6,4                      | — 6,0  | 22,1 | —      | —       | —   |
| Мокча (Ижма) .        | 65°1'  | 53°53'  | — 18,7              | 15,0                     | — 2,6  | 83,7 | —      | —       | —   |
| Полибино .            | 53°44' | 52°56'  | — 15,1              | 19,7                     | 2,7    | 34,8 | 1/VI   | 6/IX    | 96  |
| Ашур-Ауэ . .          | 36°54' | 53°55'  | 6,9                 | 27,3<br>(август)<br>28,0 | 17,6   | 21,1 | —      | —       | —   |
| Югорский шар .        | 69°50' | 60°46'  | — 20,1              | 6,1                      | — 7,5  | 26,2 | —      | —       | —   |
| Богословск .          | 59°45' | 60°1'   | — 19,2              | 17,0                     | — 0,8  | 36,2 | 2/VI   | 16/VI   | 105 |
| Свердловск .          | 56°50' | 60°38'  | — 16,2              | 17,2                     | 0,8    | 33,4 | 30/V   | 16/IX   | 108 |
| Петро-Александровск . | 41°28' | 61°5'   | — 5,2               | 28,4                     | 12,5   | 33,6 | —      | —       | —   |
| Обдорск .             | 66°31' | 66°35'  | — 26,9              | 13,6                     | — 7,8  | 40,5 | 11/VI  | 10/IX   | 90  |
| Тобольск .            | 58°12' | 66°14'  | — 19,0              | 19,1                     | — 0,2  | 38,1 | 19/V   | 23/IX   | 126 |
| Самарканд .           | 39°39' | 66°57'  | 0,1                 | 25,5                     | 13,3   | 25,4 | —      | —       | —   |
| Олекминск .           | 60°21' | 120°28' | — 36,3              | 18,9                     | — 7,4  | 55,2 | —      | —       | —   |
| Керчь .               | 51°19' | 119°37' | — 29,7              | 18,5                     | — 3,7  | 48,2 | —      | —       | —   |
| Сагасть .             | 73°23' | 124°5'  | — 36,5<br>(февраль) | 4,6                      | — 17,3 | 25,2 | —      | —       | —   |
| Сковородино .         | 53°58' | 123°58' | — 38,0<br>— 28,4    | 18,7                     | — 4,3  | 47,1 | 6/VI   | 28/VIII | 82  |
| Верхоянск .           | 67°31' | 133°24' | — 50,5              | 15,4                     | — 16,3 | 65,9 | —      | —       | —   |
| Экимчан .             | 53°05' | 132°58' | — 33,7              | 16,7                     | — 5,8  | 50,4 | 19/VI  | 9/IX    | 87  |
| Бирское поле .        | 48°23' | 132°43' | — 22,2              | 21,0                     | 0,2    | 43,2 | 10/V   | 25/IX   | 137 |
| Владивосток .         | 43°07' | 131°54' | — 15,1              | 18,9<br>(август)<br>20,8 | 4,3    | 35,9 | 15/IV  | 23/X    | 190 |



Таблица II

Таблица средних температур воздуха для станций, расположенных по различным параллелям

| Название станций | Широта | Долгота | Январь                      | Июль                     | Год   | Амплитуда | Последний мороз | Первый мороз | Число дней безморозного периода |
|------------------|--------|---------|-----------------------------|--------------------------|-------|-----------|-----------------|--------------|---------------------------------|
| Ленинград .      | 59°56' | 30°16'  | — 7,6<br>(февраль)<br>— 7,7 | 17,5                     | 4,1   | 25,2      | 5/V             | 9/X          | 156                             |
| Вятка . .        | 58°36' | 49°41'  | — 14,9                      | 18,1                     | 1,4   | 33,0      | 23/V            | 21/IX        | 120                             |
| Тобольск .       | 58°12' | 68°14'  | — 19,0                      | 19,1                     | — 0,2 | 38,1      | 19/V            | 23/IX        | 126                             |
| Енисейск .       | 58°27' | 92°6'   | — 23,4                      | 19,4                     | — 1,5 | 42,8      | 24/V            | 14/IX        | 112                             |
| Олекминск .      | 60°21' | 120°26' | — 36,3                      | 18,9                     | — 7,4 | 55,2      | —               | —            | —                               |
| Охотск .         | 59°21' | 143°17' | — 23,6                      | 12,7<br>(август)<br>12,9 | — 5,2 | 36,5      | —               | —            | —                               |
| Минск . . .      | 53°51' | 27°33'  | — 6,8                       | 17,5                     | 5,3   | 24,3      | 1/V             | 6/X          | 157                             |
| Полибино .       | 53°44' | 52°56'  | — 15,1                      | 19,7                     | 2,7   | 34,8      | 1/VI            | 6/IX         | 96                              |
| Златоуст .       | 55°10' | 59°41'  | — 15,8                      | 16,0                     | 0,4   | 31,8      | 30/V            | 12/IX        | 104                             |
| Кузнецк . .      | 53°46' | 87°11'  | — 17,3                      | 19,0                     | 0,7   | 36,3      | 17/V            | 19/IX        | 124                             |
| Сковородино .    | 53°58' | 123°58' | — 28,4                      | 18,7                     | — 4,3 | 47,1      | 6/VI            | 28/VIII      | 82                              |
| Экимчан . .      | 53°05' | 132°58' | — 33,7                      | 16,7                     | — 5,8 | 50,4      | 13/VI           | 9/IX         | 87                              |
| Нопотоп .        | 51°14' | 33°14'  | — 7,7                       | 19,8                     | 6,3   | 27,5      | 26/IV           | 9/X          | 158                             |
| Курск . .        | 51°45' | 36°12'  | — 9,3                       | 19,4                     | 5,2   | 28,7      | —               | —            | —                               |
| Оренбург . .     | 51°45' | 55°6'   | — 15,4                      | 22,0                     | 3,8   | 37,4      | 5/V             | 29/IX        | 146                             |
| Семипалатинск .  | 50°24' | 80°13'  | — 16,0                      | 21,8                     | 2,8   | 37,8      | 8/V             | 27/IX        | 144                             |
| Иркутск . . .    | 52°16' | 104°19' | — 20,8                      | 18,4                     | — 0,4 | 39,2      | 6/VI            | 7/IX         | 92                              |
| Верхнеудинск .   | 51°49' | 107°35' | — 27,4                      | 19,0                     | — 2,2 | 46,4      | —               | —            | —                               |
| Гош .            | 51°24' | 129°12' | — 30,3                      | 19,7                     | — 3,3 | 50,0      | 29/V            | 10/IX        | 103                             |
| Владикавказ . .  | 43°2'  | 44°41'  | — 4,4                       | 20,4                     | 8,4   | 24,8      | 14/IV           | 22/X         | 190                             |
| Нукуо . . .      | 42°27' | 59°38'  | — 6,4                       | 26,0                     | 10,9  | 32,4      | —               | —            | —                               |
| Ташкент . . . .  | 41°20' | 69°18'  | — 1,1                       | 27,1                     | 13,4  | 28,2      | —               | —            | —                               |
| Владивосток . .  | 43°07' | 131°54' | — 15,1                      | 18,9<br>(август)<br>20,8 | 4,3   | 35,9      | 15/IV           | 23/X         | 190                             |



Таблица III

Таблица среднего количества осадков и высота снежного покрова для станций, расположенных по меридианам

| Название станций                 | Широта | Долгота | Количество осадков за год в мм | Средняя высота снежного покрова по месяцам в см |     |     |     |    |    |     |     |     | Число дней в году со снежным покровом |
|----------------------------------|--------|---------|--------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|---------------------------------------|
|                                  |        |         |                                | IX                                              | X   | XI  | XII | I  | II | III | IV  | V   |                                       |
| Кола . . . . .                   | 68°53' | 33°01'  | 355                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Новгород . . . . .               | 58°31' | 31°18'  | —                              | 0                                               | 0,5 | 6   | 17  | 26 | 38 | 40  | 14  | 0,1 | 142                                   |
| Великие Луки . . . . .           | 56°21' | 30°31'  | 543                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Киев . . . . .                   | 50°27' | 30°30'  | 584                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Одесса . . . . .                 | 46°29' | 30°24'  | 367                            | 0                                               | 0   | 0,3 | 1   | 4  | 4  | 2   | 0   | 0   | 34                                    |
| Соловец . . . . .                | 65°01' | 35°45'  | —                              | 0                                               | 1   | 11  | 24  | 38 | 48 | 55  | 53  | 17  | 185                                   |
| Москва (Тим. академия) . . . . . | 55°50' | 37°33'  | 620                            | 0                                               | 0,7 | 6   | 15  | 29 | 43 | 41  | 19  | 0,3 | 149                                   |
| Харьков . . . . .                | 50°04' | 36°09'  | 507                            | 0                                               | 0,3 | 1   | 10  | 19 | 18 | 16  | 1   | 0   | 106                                   |
| Бердянск . . . . .               | 46°38' | 36°46'  | 354                            | 0                                               | 0   | 0,2 | 2   | 4  | 2  | 0,5 | 0   | 0   | 33                                    |
| Ялта . . . . .                   | 44°30' | 34°11'  | 545                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Нижний-Новгород . . . . .        | 56°20' | 44°0'   | 531                            | 0                                               | 1   | 7   | 22  | 38 | 51 | 50  | 26  | 0   | 157                                   |
| Камышин . . . . .                | 50°5'  | 45°24'  | 338                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Владикавказ . . . . .            | 43°2'  | 44°41'  | 821                            | 0                                               | 0   | 1   | 6   | 8  | 8  | 5   | 0,2 | 0   | 66                                    |
| Тифлис . . . . .                 | 41°43' | 44°48'  | 525                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Богословск . . . . .             | 59°45' | 60°1'   | 471                            | 0,3                                             | 9   | 26  | 43  | 57 | 67 | 67  | 36  | 0,8 | 176                                   |
| Свердловск . . . . .             | 56°50' | 60°38'  | 435                            | 0                                               | 5   | 14  | 28  | 36 | 40 | 42  | 24  | 0,2 | 168                                   |
| Петро-Александровск . . . . .    | 41°28' | 61°5'   | 80                             | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Обдорск . . . . .                | 66°31' | 66°35'  | 287                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Тобольск . . . . .               | 58°12' | 68°14'  | 449                            | 0                                               | 4   | 19  | 37  | 52 | 57 | 61  | 34  | 1   | 174                                   |
| Верхоянок . . . . .              | 67°31' | 133°24' | 125                            | —                                               | —   | —   | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Экимчан . . . . .                | 53°05' | 132°58' | 672                            | 0                                               | 10  | 22  | 27  | 32 | 35 | 36  | 31  | 1   | 185                                   |
| Бирюков оп. поле . . . . .       | 48°23' | 132°43' | 619                            | 0                                               | 2   | 10  | 17  | 18 | 20 | 25  | 10  | 0   | 147                                   |
| Владивосток . . . . .            | 43°07' | 131°54' | 730                            | 0                                               | 0   | 4   | 18  | 14 | 13 | 5   | 0,1 | 0   | 67                                    |



Таблица IV

Таблица среднего количества осадков и высоты снежного покрова для станций, расположенных по различным параллелям

| Название станций    | Широта | Долгота | Количество осадков за год в мм | Средняя высота снежного покрова по месяцам в см |     |    |     |    |    |     |     |     | Число дней в году со снежным покровом |
|---------------------|--------|---------|--------------------------------|-------------------------------------------------|-----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|---------------------------------------|
|                     |        |         |                                | IX                                              | X   | XI | XII | I  | II | III | IV  | V   |                                       |
| Слуцк . . .         | 59°41' | 30°20'  | 522                            | 0                                               | 2   | 7  | 17  | 30 | 42 | 43  | 29  | 0,2 | 137                                   |
| Вятка . . .         | 58°36' | 49°41'  | 554                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Тобольск . . .      | 58°12' | 68°14'  | 449                            | 0                                               | 4   | 19 | 37  | 52 | 57 | 61  | 34  | 1   | 174                                   |
| Енисейск . . .      | 58°27' | 92°6'   | 466                            | 0                                               | 8   | 28 | 54  | 69 | 75 | 76  | 62  | 2   | 184                                   |
| Охотск . . .        | 59°21' | 143°17' | 308                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Минск . . .         | 53°54' | 27°33'  | 614                            | 0                                               | 0,4 | 4  | 10  | 21 | 26 | 23  | 6   | 0   | 110                                   |
| Орел . . .          | 52°58' | 36°4'   | 545                            | 0                                               | 0,4 | 3  | 13  | 24 | 36 | 35  | 14  | 0   | 128                                   |
| Полибино . . .      | 53°44' | 52°56'  | 379                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Златоуст . . .      | 55°10' | 59°41'  | 514                            | 0,1                                             | 8   | 23 | 42  | 59 | 74 | 78  | 56  | 1   | 175                                   |
| Кузнецк . . .       | 53°46' | 87°11'  | 500                            | 0                                               | 3   | 13 | 29  | 45 | 48 | 49  | 26  | 0,3 | 181                                   |
| Сковородино . . .   | 53°58' | 123°58' | 435                            | 0                                               | 4   | 14 | 17  | 20 | 21 | 20  | 9   | 0,2 | 170                                   |
| Экимчан . . .       | 53°05' | 132°58' | 672                            | 0                                               | 10  | 22 | 27  | 32 | 35 | 36  | 31  | 1   | 185                                   |
| Киев . . .          | 50°27' | 30°30'  | 584                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Курск . . .         | 51°45' | 36°12'  | 564                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | 119                                   |
| Оренбург . . . .    | 51°45' | 55°8'   | 342                            | 0                                               | 0,5 | 7  | 24  | 40 | 48 | 50  | 26  | 0   | 148                                   |
| Семипалатинск . . . | 50°24' | 80°13'  | 277                            | 0                                               | 1   | 6  | 20  | 31 | 40 | 42  | 11  | 0   | —                                     |
| Иркутск . . .       | 52°16' | 104°19' | 394                            | 0,1                                             | 2   | 9  | 16  | 19 | 22 | 22  | 4   | 0,3 | 157                                   |
| Верхнеудинск . . .  | 51°49' | 107°35' | 204                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Нерчинск . . .      | 51°19' | 119°37' | 283                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Гош . . . .         | 51°24' | 129°12' | 516                            | 0                                               | 2   | 14 | 18  | 21 | 25 | 28  | 19  | 0   | 160                                   |
| Владивосток . . .   | 43°2'  | 44°41'  | 821                            | 0                                               | 0   | 1  | 6   | 8  | 8  | 5   | 0,2 | 0   | 68                                    |
| Ташкент . . .       | 41°20' | 69°18'  | 350                            | —                                               | —   | —  | —   | —  | —  | —   | —   | —   | —                                     |
| Владивосток . . .   | 43°07' | 131°54' | 730                            | 0                                               | 0   | 4  | 19  | 14 | 13 | 5   | 0,1 | 0   | 67                                    |



Таблица V

## Распутица на грунтовых дорогах (по Н. М. Бенуа)

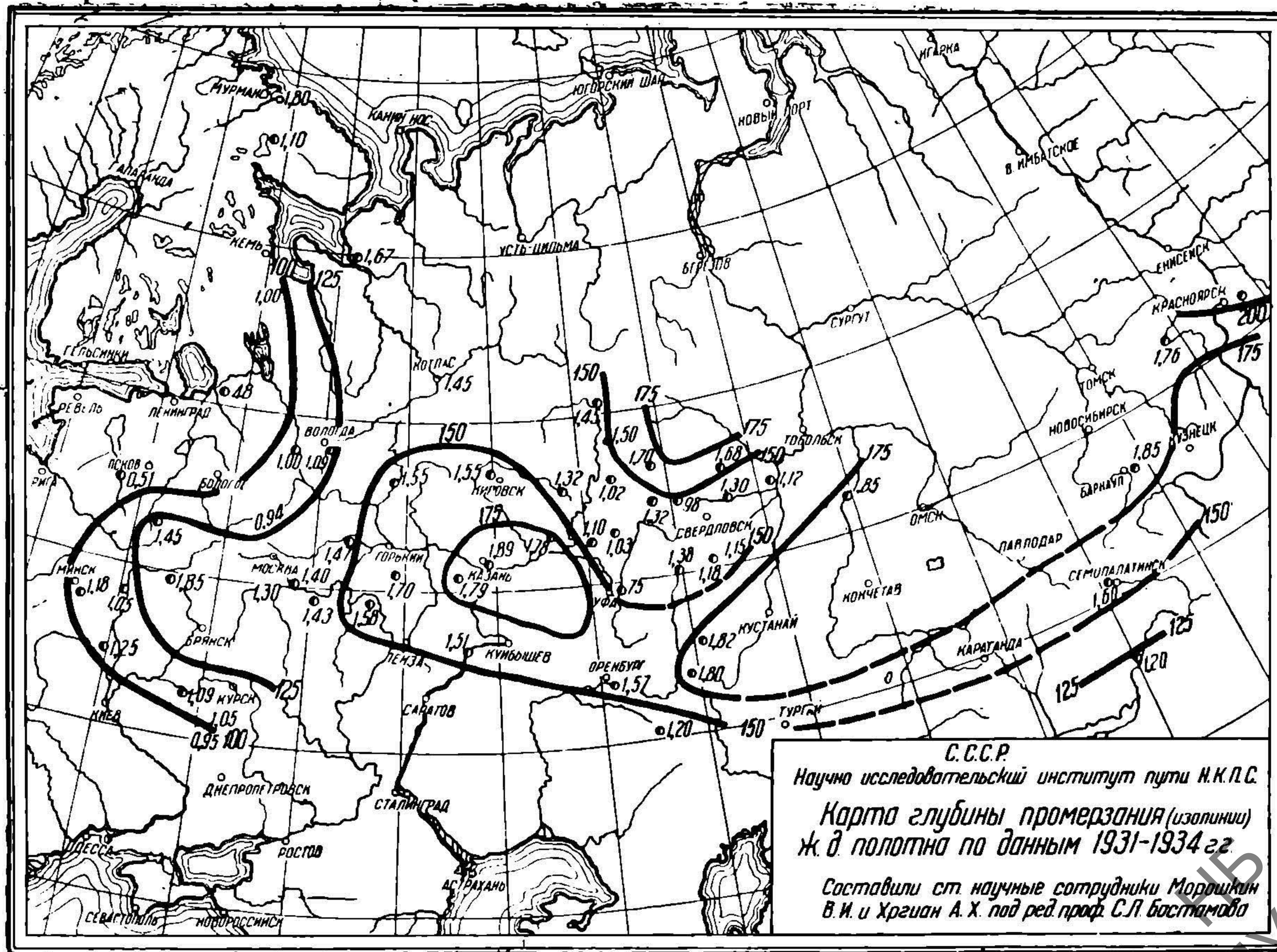
| Р а й о н ы                     | 1927—1928 г. |       |              |        |       |              | 1928—1929 г. |        |              |        |       |              | 1929—1930 г. |        |              |        |        |              | Осенняя продолжительность весенней на число дней |            |            |
|---------------------------------|--------------|-------|--------------|--------|-------|--------------|--------------|--------|--------------|--------|-------|--------------|--------------|--------|--------------|--------|--------|--------------|--------------------------------------------------|------------|------------|
|                                 | Осень        |       |              | Весна  |       |              | Осень        |        |              | Весна  |       |              | Осень        |        |              | Весна  |        |              | 1927/28 г.                                       | 1928/29 г. | 1929/30 г. |
|                                 | Начало       | Конец | Прод. в днях | Начало | Конец | Прод. в днях | Начало       | Конец  | Прод. в днях | Начало | Конец | Прод. в днях | Начало       | Конец  | Прод. в днях | Начало | Конец  | Прод. в днях |                                                  |            |            |
| Северный район                  |              |       |              |        |       |              |              |        |              |        |       |              |              |        |              |        |        |              |                                                  |            |            |
| Вологда .                       | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 5/X          | 10/XII | 67           | 22/III | 4/V    | 44           | —                                                | —          | 23         |
| Тотьма .                        | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 12/X         | 7/XII  | 57           | 4/IV   | 18/V   | 45           | —                                                | —          | 12         |
| Центрально-промышленная область |              |       |              |        |       |              |              |        |              |        |       |              |              |        |              |        |        |              |                                                  |            |            |
| Мышкин .                        | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 13/X         | 25/XII | 74           | 7/IV   | 4/V    | 28           | —                                                | —          | 46         |
| Дмитров .                       | 14/X         | 25/XI | 43           | 28/III | 2/V   | 36           | 1/IX         | 11/XII | 102          | 20/IV  | 20/V  | 31           | 12/X         | 19/XII | 69           | —      | —      | —            | 7                                                | 71         | —          |
| Шуя .                           | 15/X         | 13/XI | 30           | 2/IV   | 30/IV | 29           | 22/X         | 30/XI  | 40           | 18/IV  | 8/V   | 21           | —            | 11/XII | —            | 8/IV   | 30/IV  | 23           | 1                                                | 19         | —          |
| Тумская                         | —            | —     | —            | 4/IV   | 11/V  | 38           | 21/IX        | 5/XII  | 95           | 19/IV  | 17/V  | 29           | 14/X         | 18/XII | 66           | 2/III  | 19/IV  | 49           | —                                                | 66         | 17         |
| Кашира                          | —            | —     | —            | 4/IV   | 15/V  | 42           | 5/XI         | 20/XII | 46           | 19/IV  | 7/V   | 19           | —            | 30/I   | —            | 9/III  | 16/IV  | 39           | —                                                | 27         | —          |
| Исаково                         | —            | —     | —            | —      | —     | —            | 30/X         | 29/XI  | 31           | 19/IV  | 9/V   | 21           | —            | 31/I   | —            | 3/III  | 18/IV  | 47           | —                                                | 10         | —          |
| Елатьма .                       | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 20/X         | 18/XII | 60           | 22/III | 16/IV  | 26           | —                                                | —          | 34         |
| Скуратово . . . .               | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 8/XII        | 16/XII | 9            | 2/III  | 14/IV  | 44           | —                                                | —          | 35         |
| Успенская ферма                 | 28/IX        | 13/XI | 47           | 26/IV  | 10/V  | 15           | 30/IX        | 29/XI  | 64           | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —      | —            | 32                                               | —          | —          |
| ЦЧО                             |              |       |              |        |       |              |              |        |              |        |       |              |              |        |              |        |        |              |                                                  |            |            |
| Земетчино                       | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 24/X         | 17/XII | 55           | 11/III | 20/IV  | 41           | —                                                | —          | 14         |
| Дмитриев                        | 23/X         | 3/XII | 42           | 4/IV   | 25/IV | 22           | 8/XI         | 28/XII | 50           | 9/IV   | 10/V  | 32           | 12/X         | 30/XII | 80           | 2/III  | 13/IV  | 43           | 20                                               | 18         | 37         |
| Козлов                          | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 20/X         | 17/XII | 59           | 12/III | 17/IV  | 37           | —                                                | —          | 22         |
| Рябава . . .                    | —            | —     | —            | 2/IV   | 27/IV | 26           | 18/X         | —      | —            | 14/IV  | 1/V   | 18           | 27/X         | 14/XII | 49           | 13/III | 9/IV   | 28           | —                                                | —          | 21         |
| Кшень .                         | 23/X         | 24/XI | 33           | 2/IV   | 1/V   | 30           | 18/X         | 16/XII | 60           | 12/IV  | 8/V   | 27           | 23/X         | 30/XII | 69           | 10/III | 12/IV  | 34           | 3                                                | 33         | 35         |
| Белгород                        | 16/XI        | 26/XI | 11           | 30/III | 28/IV | 30           | 14/X         | —      | —            | —      | —     | —            | 4/XII        | 1/I    | 29           | 4/III  | 8/IV   | 36           | — 19                                             | —          | 7          |
| Валуйки .                       | 16/XI        | 26/XI | 11           | 30/III | 20/IV | 22           | 29/XI        | 22/XII | 24           | 1/IV   | 23/IV | 23           | 26/X         | 3/I    | 70           | 5/III  | 5/IV   | 32           | — 11                                             | 1          | 38         |
| Лиски                           | 17/XI        | 26/XI | 10           | 2/IV   | 17/IV | 16           | 29/XI        | 22/XII | 24           | 6/IV   | 20/IV | 15           | —            | —      | —            | —      | —      | —            | — 6                                              | 9          | —          |
| Южная часть ЕЧС                 |              |       |              |        |       |              |              |        |              |        |       |              |              |        |              |        |        |              |                                                  |            |            |
| Краснодар .                     | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 2/XII        | 30/XII | 29           | 30/I   | 22/IV  | 83           | —                                                | —          | 51         |
| Луганск .                       | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 5/XII        | 31/XII | 27           | 28/I   | 14/III | 46           | —                                                | —          | 19         |
| Усть-Медведицкая                | —            | —     | —            | —      | —     | —            | —            | —      | —            | —      | —     | —            | 18/XI        | 17/XII | 30           | 4/III  | 19/III | 16           | —                                                | —          | 14         |



## Шкала проезжаемости грунтовых и санных дорог

| Баллы | Градации проезжаемости и обуславливающие их причины |                                                                                                                      | Баллы |
|-------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 00    | Пользование санями исключено                        | Хорошо проезжаемая на колесах                                                                                        | 00    |
| 01    |                                                     | Плохо проезжаемая на колесах                                                                                         | 01    |
| 02    |                                                     |                                                                                                                      | 02    |
| 03    |                                                     |                                                                                                                      | 03    |
| 04    |                                                     |                                                                                                                      | 04    |
| 05    |                                                     |                                                                                                                      | 05    |
| 06    |                                                     | Непроезжаемая на колесах                                                                                             | 06    |
| 07    |                                                     |                                                                                                                      | 07    |
| 08    |                                                     |                                                                                                                      | 08    |
| 09    |                                                     |                                                                                                                      | 09    |
| 10    | Непроезжаемая ни на колесах, ни на санях            | Несмотря на то, что непроезжаемая, но сухая дорога покрылась снегом (снеговой покров не сплошной или слишком тонкий) | 10    |
| 11    |                                                     | Несмотря на то, что непроезжаемая мокрая дорога покрылась опеком (колеса и полозья фактически двигаются по грязи)    | 11    |
| 12    |                                                     | Вследствие таяния лежащего на дороге снегового покрова                                                               | 12    |
| 13    | Пользование санями возможно                         | Плохо проезжаемая на санях (в условиях мест. трансп. цвижен. на колесах не производится)                             | 13    |
| 14    |                                                     |                                                                                                                      | 14    |
| 15    |                                                     | Вследствие таяния лежащего на дороге снегового покрова                                                               | 15    |
| 16    |                                                     | Вследствие недостатка снега                                                                                          | 16    |
| 17    |                                                     | Вследствие таяния лежащего на дороге снегового покрова                                                               | 17    |
| 18    |                                                     | Вследствие того, что снегов. покр. на дороге залегает сугробами                                                      | 18    |
| 19    |                                                     | Хорошо проезжаемая на санях                                                                                          | 19    |

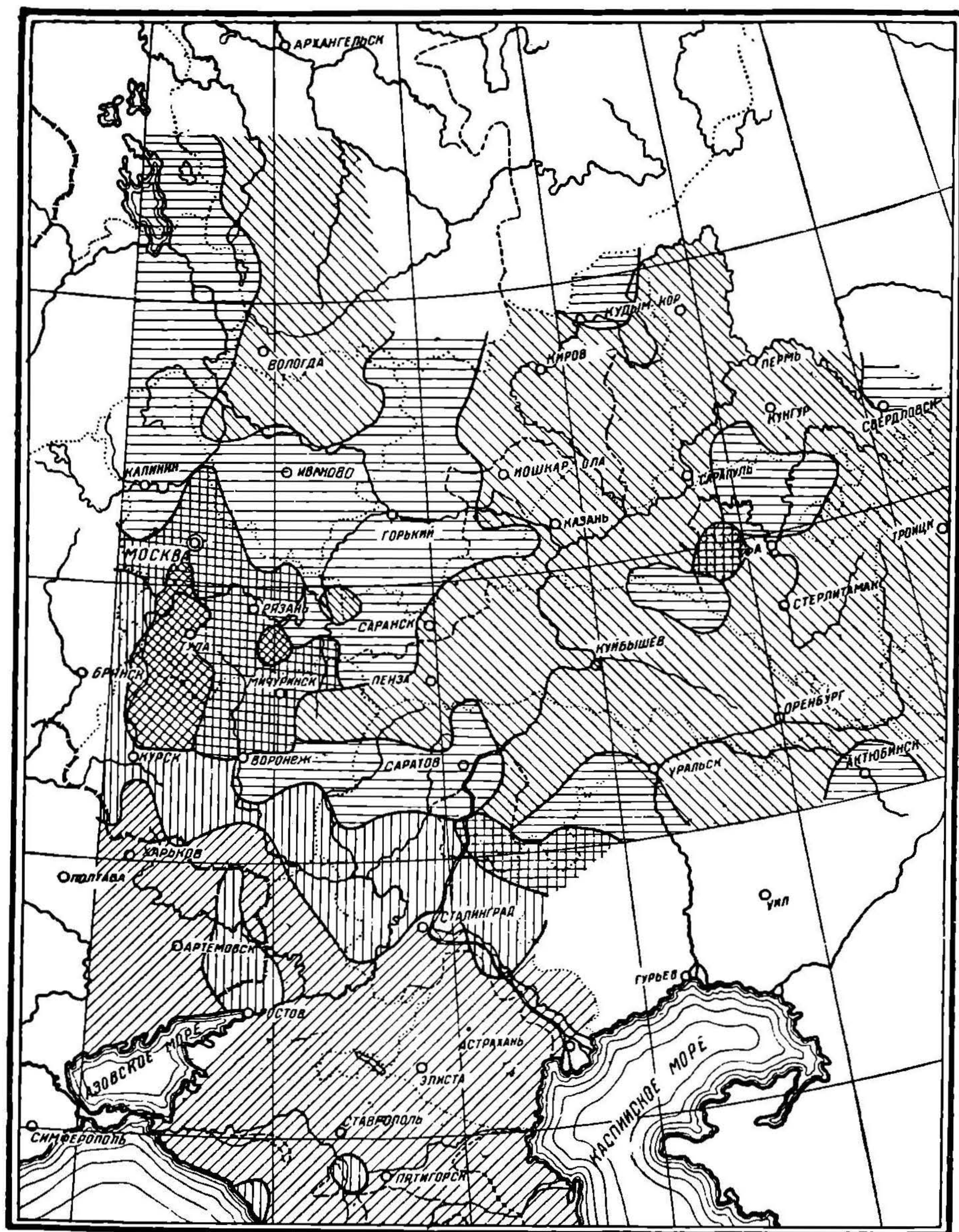






Карта 5

**ОПЕРАТИВНАЯ КАРТА ПРОЕЗЖАЕМОСТИ ДОРОГ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР**  
на 28 марта 1934 года



|                                 |  |                                  |  |                                                       |  |                                |
|---------------------------------|--|----------------------------------|--|-------------------------------------------------------|--|--------------------------------|
| <b>УСЛОВНЫЕ<br/>ОБОЗНАЧЕНИЯ</b> |  | Хорошо проезжаемая<br>на колесах |  | Плохо проезжаемая<br>на колесах                       |  | Хорошо проезжаемая<br>на санях |
|                                 |  | Плохо проезжаемая<br>на санях    |  | Плохо проезжаемая<br>как на колесах так<br>и на санях |  | Не проезжаемая<br>дорога       |

УДУНТ  
(ДНТ)



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Атлас — климатический Г. Г. О (европейская и азиатская части), 1930/32 г.

Б е р г Л. С. — Основы климатологии. ГИЗ, 1930 г.

Б р о у н о в П. И. — Курс метеорологии. Гостехиздат, 1927 г.

Б е н у а К. М. — К вопросу об организации дорожно-синоптической службы. ЦИАТ, 1932 г.

Б о н ч к о в с к и й В. Ф. — Метели и поземки.

В о л о г д и н а И. С. — О некоторых свойствах пучинистых грунтов.

Г л и н к а — Почвоведение. Новая деревня, Москва, 1930 г.

И в а н о в Б. Г. — Дожди и дороги, 1933 г.

Л ю б и м о в П. Н. — Пучины на железных дорогах и меры к их устранению. Транспечать, 1925 г.

Методы изучения пучин на автогужевых дорогах. Инструкция изд. НАДИ, Ленинград, 1930 г.

О б о л е н с к и й В. Н. — Метеорология. Новая деревня, Москва, 1930 г.

П е т р о в В. Г. — Наледи на Амуро-Якутской магистрали.

С т е л а н о в Н. Н. — Живая снегозащита.

Справочники климатические Г. Г. О, 1930—1932 г.

С у м г и н М. И. — Вечная мерзлота почвы в пределах СССР, 1934 г.

С у м г и н М. И. — Физико-механические процессы во влажных и мерзлых грунтах, 1929 г.

Т о л с т о в В. Ф. — Борьба со снежными заносами. Транспечать, Москва, 1929 г.

Терцаги — Основы механики грунтов, 1932 г.

Л е б е д е в А. Ф. — Почвенные и грунтовые воды. Сельхозиздат, Москва — Ленинград, 1930 г.

С а ф р о н о в — Борьба со снегом на автогужевых дорогах, Москва, 1932 г.

Ш е н р о к А. М. — Высота снегового покрова в европейской части СССР по средним данным с зимы 1890/91 до зимы 1919/20 г., изд. Главной геофизической обсерватории, Ленинград, 1926 г.

Х р г и а н А. Х. — Аэродинамика в снегоборьбе.

Сборники Научно-исследовательского института пути НКПС:

№ 139 — Работы по снегоборьбе.

№ 10 — Активная снегоборьба.

№ 8 — Вечная мерзлота на железных дорогах.

№ 12 — Пучины на железных дорогах.

№ 28 — Борьба с пучинами на железных дорогах.

О х о т и н В. В. — Гранулометрическая классификация грунтов на основе их физических и механических свойств. Гострансиздат, Ленинград, 1933 г.



НБ  
УДУНТ  
(ДІІТ)



# ОГЛАВЛЕНИЕ

|             |        |
|-------------|--------|
| Предисловие | Стр. 3 |
| Введение    | 5      |

## Общая часть

### Глава I. Понятие о метеорологических элементах. Приборы, их установка

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Метеорологические элементы и изучение их                                          | 9  |
| 2. Состав и основные свойства воздуха                                                | 10 |
| 3. Законы Бойль-Мариотта, Гей-Люссака и Дальтона в приложении к атмосферному воздуху | 11 |
| 4. Вес воздуха                                                                       | 13 |
| 5.оборот тепловой энергии на земном шаре}                                            | 13 |
| 6. Инсоляция и излучение                                                             | 16 |
| 7. Изучение теплового состояния нижних слоев воздуха                                 | 18 |
| 8. Изучение влажности воздуха                                                        | 21 |
| 9. Изучение испарения                                                                | 25 |
| 10. Изучение атмосферных осадков                                                     | 26 |
| 11. Изучение плотности снега                                                         | 28 |
| 12. Изучение ветра                                                                   | 29 |
| 13. Метеорологические станции                                                        | 33 |
| 14. Использование материалов наблюдений                                              | 34 |

### Глава II. Синоптическая метеорология

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Погода и ее предсказание                                      | 35 |
| 2. Распределение атмосферного давления по земной поверхности     | 35 |
| 3. Атмосферное давление и ветер                                  | 37 |
| 4. Воздушные течения и воздушные массы                           | 39 |
| 5. Консервативные свойства воздушных масс                        | 41 |
| 6. Классификация воздушных масс                                  | 43 |
| 7. Теплая (устойчивая) и холодная (неустойчивая) воздушная масса | 45 |
| 8. Фронтобразование                                              | 47 |
| 9. Холодный фронт — ХФ                                           | 51 |
| 10. Перемещение фронтов                                          | 52 |
| 11. Перемещение циклонов и антициклонов                          | 53 |
| 12. Антициклоны и погода в них                                   |    |
| 13. Организация службы погоды в СССР                             |    |

### Глава III. Основы климатологии

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 1. Понятие о климатах и их классификации | 59 |
| 2. Краткое описание климатов СССР        | 62 |



## Специальная часть

### Глава IV. Основы снегоборьбы

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Необходимость борьбы со снежными заносами              | 70 |
| 2. Ветер в нижних слоях воздуха                           | 70 |
| 3. Перенос и отложение снега                              | 71 |
| 4. Влияние метеорологических условий                      | 72 |
| 5. Особенности явлений переноса снега                     | 72 |
| 6. Обтекание ветром различных поперечных профилей полотна | 75 |
| 7. Аэродинамика снегозащит:                               |    |
| а) задачи и методы защиты полотна от снега                | 78 |
| б) учет климатических и орографических условий            | 78 |
| в) аэродинамика сплошных заборов                          | 79 |
| г) аэродинамика решетчатых заборов                        | 80 |
| д) аэродинамика ряда переносных щит. в.                   | 81 |
| е) живые защиты                                           | 86 |
| ж) активные методы снегозащиты                            | 88 |
| 8. Районирование типов снегозащит                         | 90 |

### Глава V. Пучины на дорогах

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 1. Механический состав почво-грунтов    | 93  |
| 2. Вода в почво-грунтах                 | 93  |
| 3. Температура почвы                    | 95  |
| 4. Общее описание и морфология пучин    | 101 |
| 5. Географическое распространение пучин | 104 |
| 6. Теория образования пучин             | 105 |
| 7. Систематизация пучин                 | 114 |
| 8. Меры борьбы с пучинами               | 117 |

### Глава VI. Вечная мерзлота и наледи

### Глава VII. Распутица и дорожно-синоптическая служба

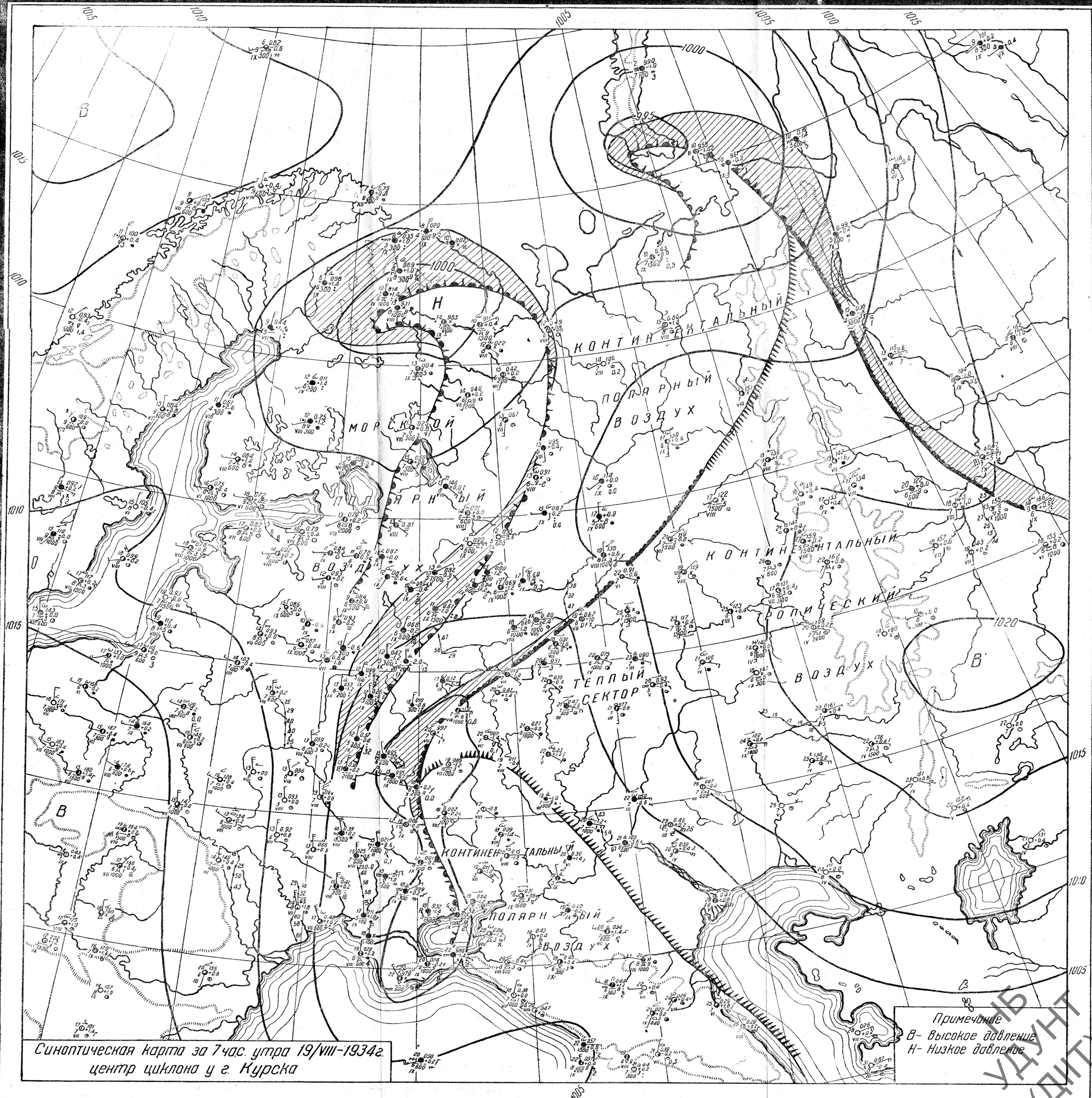
|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Влияние метеорологических условий на проезжаемость грунтовых дорог и явление распутицы | 128 |
| 2. Организация, методы и задачи дорожно-синоптической работы                              | 132 |

#### Приложения

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Таблицы (шесть таблиц)         | 136 |
| Карты (шесть карт)             |     |
| Список литературных источников | 147 |

НБ  
УДУНТ  
(ДІІТ)

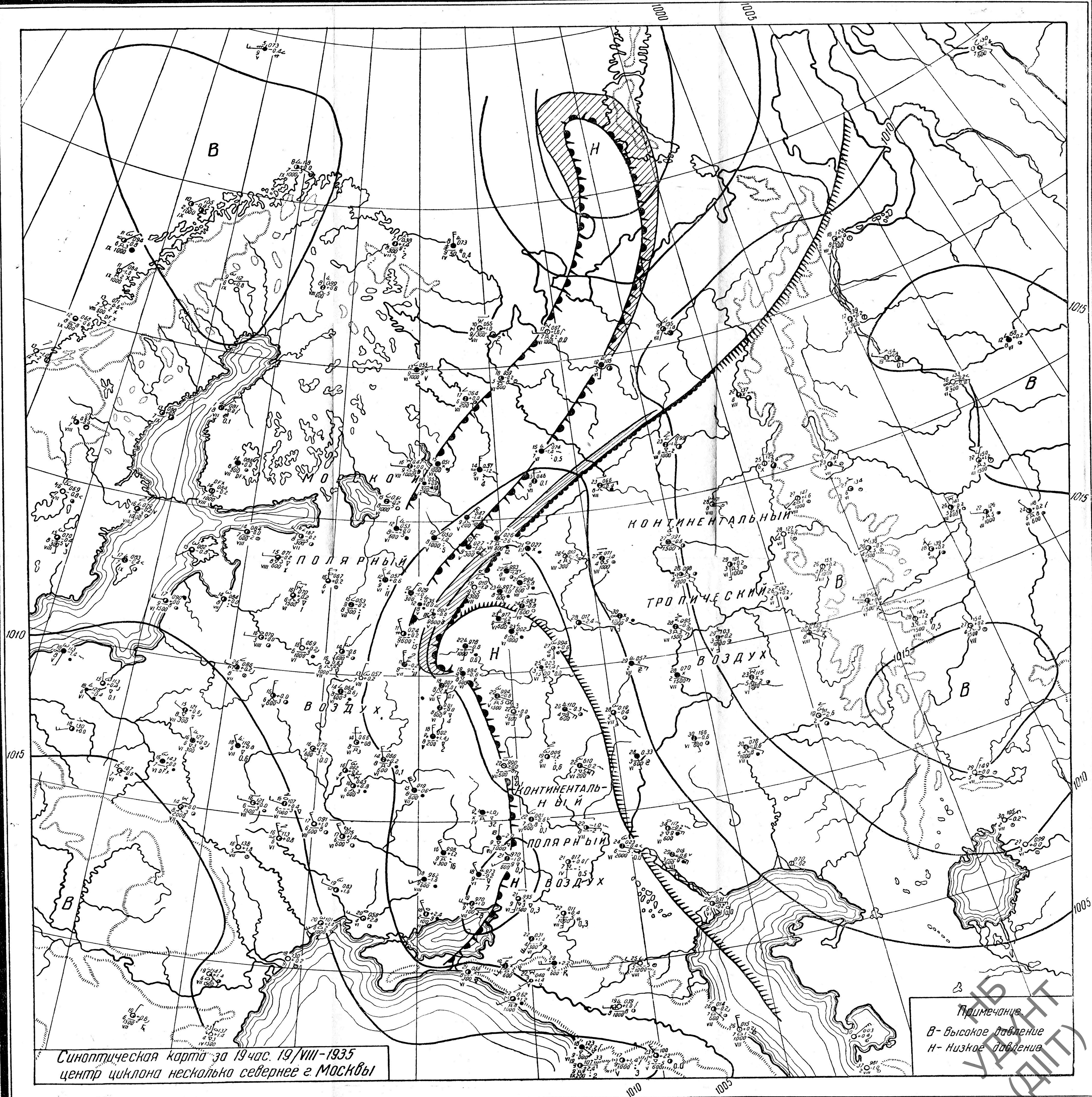




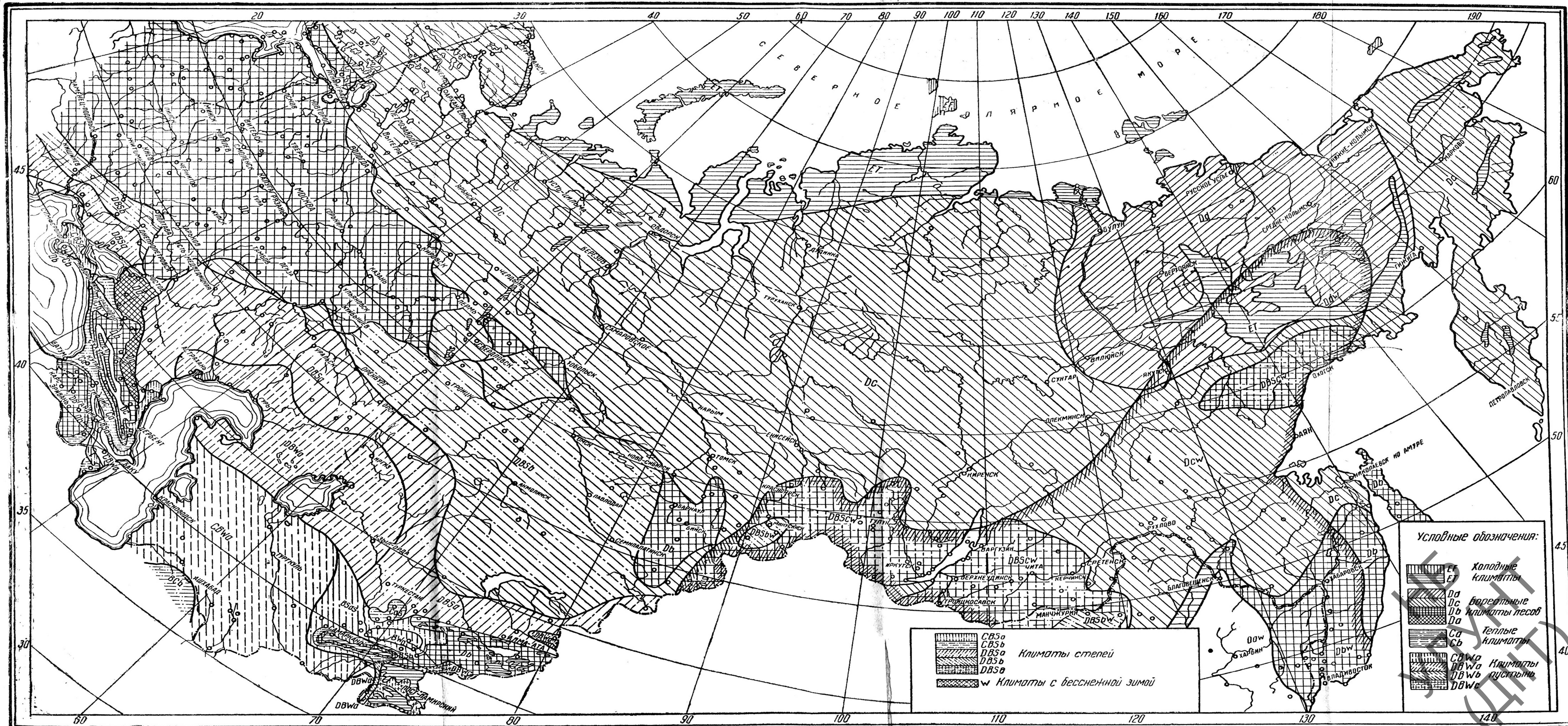
Синоптическая карта за 7 час. утра 19/VIII-1934г.  
центр циклона у г. Курска

Примечание  
В- высокое давление  
Н- низкое давление



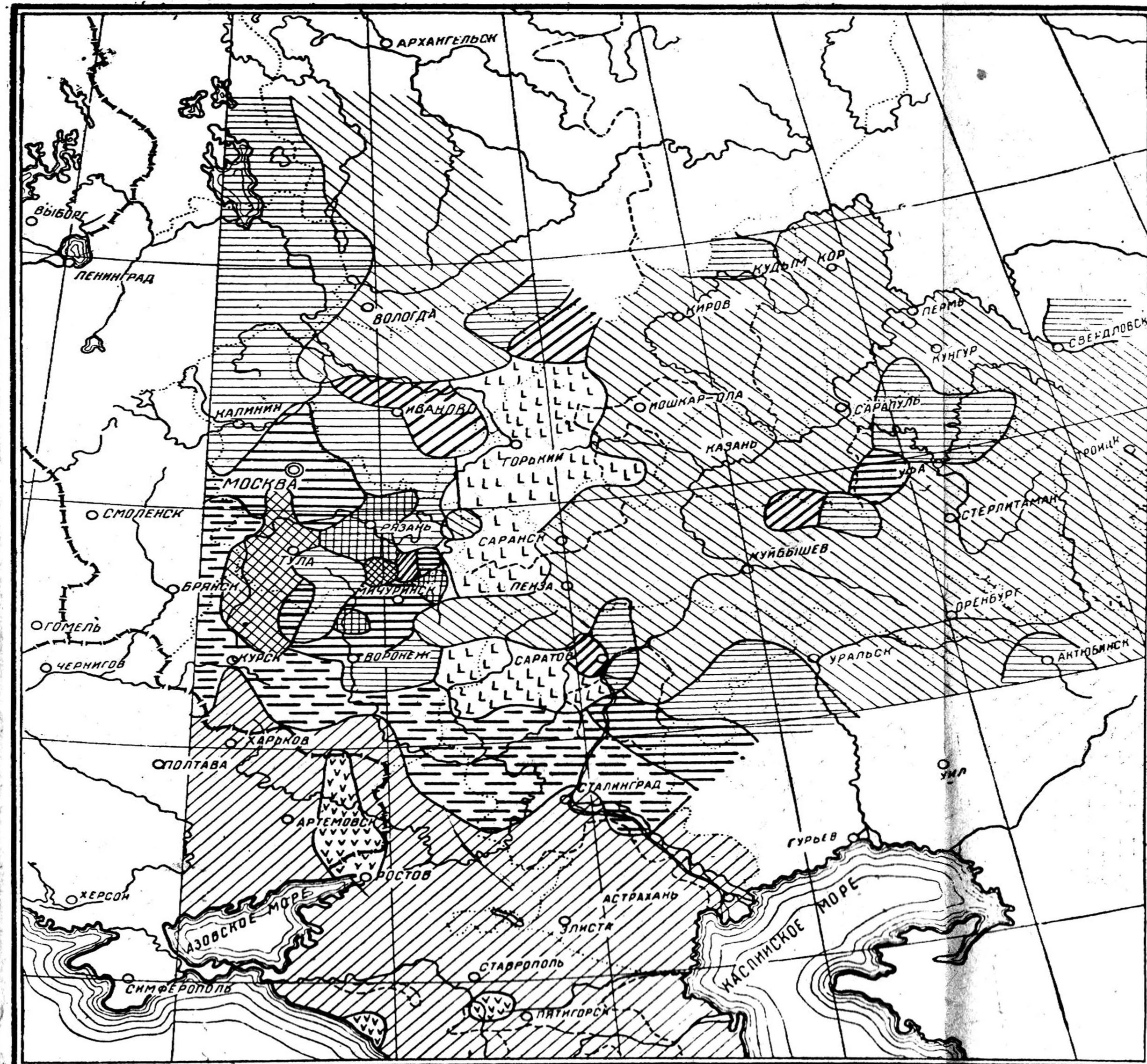




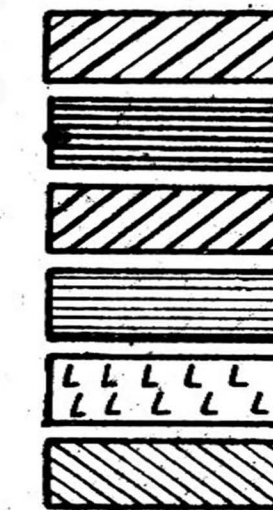




Карта 6  
КАРТА ПРОЕЗЖАЕМОСТИ ДОРОГ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СОЮЗА  
за 28 марта 1934 года, составленная по 20-балльной шкале для научно-исследовательских целей



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Хорошо проезжаемая на колесах.

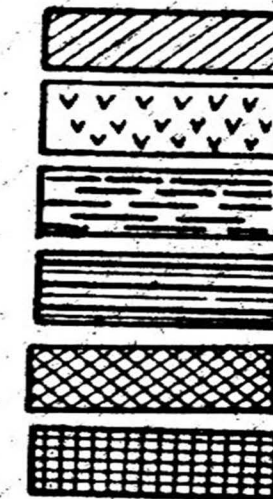
Плохо проезжаемая на колесах вследствие сильного пересыхания полотна дороги, вызванного недостатком дождей (пески и пр.).

Плохо проезжаемая на колесах вследствие грязи, вызванной оттаиванием полотна дороги или образовавшейся от таяния лежащего на дороге снегового покрова.

Непроезжаемая на колесах вследствие грязи, вызванной оттаиванием полотна дороги или образовавшейся от таяния лежащего на дороге снега.

Непроезжаемая ни на колесах, ни на санях вследствие таяния лежащего на дороге снегового покрова.

Плохо проезжаемая как на колесах, так и на санях, несмотря на то, что плохо проезжаемая мокрая дорога покрылась снегом (колеса и полозья фактически двигаются по грязи).



Плохо проезжаемая как на колесах, так и на санях, несмотря на то, что плохо проезжаемая, но сухая дорога покрылась снегом (снеговой покров не сплошной или слишком тонкий).

Плохо проезжаемая как на колесах, так и на санях вследствие таяния лежащего на дороге снегового покрова.

Плохо проезжаемая на санях вследствие недостатка снега.

Плохо проезжаемая на санях вследствие таяния лежащего на дороге снегового покрова.

Плохо проезжаемая на санях вследствие того, что снеговой покров на дороге залегают сугробами.

Хорошо проезжаемая на санях.

НЕ  
УДУНТ  
(ДИТ)



Ціна 3 руб. 30 коп.

Сканувала Петренко О.А.  
Покровська Т.В.

НБ  
УДКУНТ  
(ДІІТ)