

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

И.И. Леонович

ДОРОЖНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Учебное электронное издание



Минск БНТУ 2007

Рецензенты:
Вырко Н.П., д-р техн. наук, проф. БГТУ;
Нестерович И.В., кандидат техн.наук, зам.ген.директора РУП «Белдорцентр».

Леонович И.И.
Дорожная климатология: электронное учебное пособие / И.И. Леонович. – Мн.: БНТУ,
2007.

Компьютерный дизайн: Артамонова О., Немеро Ю.Г.

В учебном пособии изложены основные сведения по общей и дорожной климатологии. Приведены данные о температуре воздуха, осадках, упругости водяного пара, направлениях и скорости ветра, солнечной радиации, других метеорологических характеристиках, описаны особенности климата Республики Беларусь.

Системно изложена методология учета климатических факторов при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог; приведены терминологический словарь и система районирования Республики Беларусь по важнейшим расчетным параметрам климата. В приложении представлены справочные данные об основных климатических характеристиках различных регионов Республики Беларусь.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-70.03.01 «Автомобильные дороги» и для инженерно-технических работников ДСТ, ДСУ, ДЭУ и других организаций.

© БНТУ, 2007

© Леонович И.И., 2007

Содержание

ВВЕДЕНИЕ

1. РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О МЕТЕОРОЛОГИИ И КЛИМАТЕ ЗЕМЛИ

- 1.1. Общие сведения о метеорологии и климатологии
- 1.2. Исследование метеорологии и климатологии в Беларуси
- 1.3. Краткие сведения об ученых-метеорологах и климатологах

2. ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ И ЕЕ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

- 2.1. Общая характеристика Земли
- 2.2. Атмосфера
 - 1.2.1 Состав атмосферы
 - 1.2.2 Происхождение атмосферы
 - 1.2.3 Структура атмосферы
 - 1.2.4 Свойства атмосферы
- 2.3. Озоновый слой и особенности его формирования
- 2.4. Гидросфера
- 2.5. Литосфера
- 2.6. Биосфера

3. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА АТМОСФЕРУ

- 3.1. Общая характеристика Солнца
- 3.2. Структура Солнца
- 3.3. Солнечная радиация
- 3.4. Измерение солнечной радиации

4. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

- 4.1. Физическая сущность испарения
- 4.2. Конденсация водяного пара

5. ОБЛАЧНОСТЬ

- 5.1. Образование облаков
- 5.2. Классификация облаков
- 5.3. Облака верхнего яруса
- 5.4. Облака среднего яруса
- 5.5. Облака нижнего яруса
- 5.6. Облака вертикального развития
- 5.7. Другие типы облаков
- 5.8. Метеорологическая оценка облачности
- 5.9. Особенности облачности в Республике Беларусь

6. ТУМАНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

- 6.1. Общее понятие о туманах
- 6.2. Основные свойства туманов, дымки
- 6.3. Микрофизическое строение туманов
- 6.4. Влажность и водность туманов
- 6.5. Оптические свойства туманов
- 6.6. Общие сведения о процессах конденсации водяного пара и образования туманов
- 6.7. Особенности образования ледяных туманов
- 6.8. Основные процессы образования туманов
- 6.9. Синоптические условия образования туманов
- 6.10. Меры повышения безопасности движения при туманах
- 6.11. Увеличение видимости в туманах

7. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

- 7.1. Общие сведения
- 7.2. Виды атмосферных осадков
- 7.3. Приборы и методы измерения количества осадков
- 7.4. Атмосферные осадки на территории Республики Беларусь

8. ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ

- 8.1. [Основные силы, действующие в атмосфере](#)
- 8.2. [Атмосферные циркуляции и возмущения](#)
- 8.3. [Воздушные массы и атмосферные фронты](#)
- 8.3.1 [Воздушные массы](#)
- 8.3.2 [Атмосферные фронты](#)
- 8.3.3 [Типы атмосферных фронтов](#)
- 8.4. [Ветры](#)
- 8.4.1 [Природа возникновения и классификация ветров](#)
- 8.4.2 [Характеристики ветра и методы их определения](#)
- 8.4.3 [Приборы, используемые для определения направления и скорости ветра](#)
- 8.4.4 [Ветровой режим на территории Беларуси](#)
- 8.5. [Циклоны и антициклоны](#)
- 9. [МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ](#)
- 9.1. [Общие положения](#)
- 9.2. [Земной магнетизм](#)
- 9.3. [Основное \(постоянное\) геомагнитное поле](#)
- 9.4. [Происхождение основного геомагнитного поля](#)
- 9.5. [Практическое применение явлений земного магнетизма](#)
- 10. [ОСНОВЫ КЛИМАТОЛОГИИ И ПРОГНОЗ ПОГОДЫ](#)
- 10.1. [Вводные понятия](#)
- 10.2. [Классификация климатов](#)
- 10.3. [Погода и основы ее прогнозирования](#)
- 11. [ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В](#)

[БЕЛАРУСИ В XX ВЕКЕ](#)

- 11.1. [Температура воздуха](#)
- 11.2. [Осадки](#)
- 11.3. [Ветер](#)
- 11.4. [Стихийные метеорологические явления](#)
- 11.5. [Заморозки](#)
- 11.6. [Разрушительные шквалы](#)
- 11.7. [Засушливые явления](#)
- 12. [СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТ БЕЛАРУСИ](#)
- 13. [СИСТЕМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ](#)
- 13.1. [Организация метеорологических наблюдений](#)
- 13.2. [Метеорологические станции и посты](#)
- 13.3. [Предупреждение о возникновении гололеда на дороге](#)
- 13.4. [Метеорологическая дорожная станция Vaisala ROSA](#)
- 13.4.1 [Общие сведения о станции](#)
- 13.4.2 [Дорожный сенсор Viasala DRS511/511B](#)
- 13.4.3 [Детектор текущей погоды PWD11](#)
- 13.4.4 [Универсальные датчики влажности и температуры HMP45&HMP45D](#)
- 13.4.5 [Анемометр WAA151](#)
- 13.4.6 [Флюгер WAV151](#)
- 13.4.7 [Кронштейн WAC151](#)
- 14. [ПОКАЗАТЕЛИ И ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ](#)

[МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК](#)

[15. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ](#)

[16. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ](#)

[17. УЧЕТ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ](#)

[И СООРУЖЕНИЙ](#)

- 17.1. [Общие положения](#)

- 17.2. [Прогнозирование пучинообразования на автомобильных дорогах](#)
- 17.3. [Учет погодно-климатических факторов при зимнем содержании автомобильных дорог \(на примере ДРСУ-165\)](#)
- 17.4. [Учет климатических факторов при оценке долговечности асфальтобетонных покрытий](#)

18. [ФОРМУЛЫ И ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ УЧЕТА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ](#)

[ПРИ РЕШЕНИИ ДОРОЖНЫХ ЗАДАЧ](#)

- 18.1. [Прямая солнечная радиация у земной поверхности при известной массе атмосферы](#)
- 18.2. [Прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность](#)
- 18.3. [Поглощенная солнечная радиация](#)
- 18.4. [Уровень прямой солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность](#)
- 18.5. [Превышения одной точки над другой при барометрическом нивелировании](#)
- 18.6. [Высота баретической ступени](#)
- 18.7. [Горизонтальный барический градиент \(Па/м; кПа/км\)](#)
- 18.8. [Собственное излучение земной поверхности](#)
- 18.9. [Эффективное излучение поверхности](#)
- 18.10. [Радиационный баланс земной поверхности](#)
- 18.11. [Относительная влажность воздуха](#)
- 18.12. [Дефицит упругости водяного пара](#)
- 18.13. [Удельная влажность воздуха](#)
- 18.14. [Расход тепла на испарение воды](#)
- 18.15. [Температура в грунте – поток тепла \$Q_z\$, проходящий за 1 с через \$1 \text{ см}^2\$ горизонтальной поверхности на глубину \$Z\$](#)
- 18.16. [Необходимый период при условии высыхания грунта \(до начала земляных работ\) в случае, если естественная влажность грунта в резерве \$W_e\$ больше оптимальной влажности грунта \$W_o\$](#)
- 18.17. [Формулы для определения температуры покрытия](#)
- 18.18. [Ширина шва расширения, назначаемая из условий возможности расширения плиты при нагревании](#)
- 18.19. [Температурные напряжения, возникающие в плите](#)
- 18.20. [Критерии выбора битума для приготовления асфальтобетона](#)

[ПРИЛОЖЕНИЯ](#)

- 18.21. [Яркость объекта в тумане при освещении автомобильными фарами \(по МА. Гольдбергу\)](#)
- 18.22. [Яркость фона в тумане при освещении автомобильными фарами](#)
- 18.23. [Яркостный контраст объекта и фона \(при \$I = R\$ \)](#)
- 18.24. [Метеорологическая дальность видимости с учетом уравнения Кошмидера](#)
- 18.25. [Метеорологическая дальность видимости](#)
- 18.26. [Дата начала \$Z_u\$ и окончания \$Z_k\$ весенней распутицы для сводных грунтов \(формулы профессора В.М. Сиденко\)](#)
- 18.27. [Продолжительность выполнения линейных земляных работ](#)
- 18.28. [Климатическая продолжительность сосредоточенных работ](#)
- 18.29. [Действительное время наблюдений на определенной станции](#)
- 19. [ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ](#)

[Предметный указатель](#)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Метеорологическая информация по станциям и областям Республики Беларусь](#)

[ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Схематические карты метеорологических характеристик Республики Беларусь](#)

[Литература](#)

Введение

Дорога – это комплекс инженерных сооружений, объектов и устройств, взаимоувязанных между собой конструктивно, технологически, эстетически, функционально и предназначенных для обеспечения транспортных коммуникаций. Система дорог имеет разветвленный характер, проникает в самые различные точки пространства, создает предпосылки для взаимодействия человека с окружающей средой. Дорожные сооружения, как никакие другие, проектируются и возводятся с учетом ландшафта, гидрогеологических особенностей местности, принципов землепользования. Они функционируют не только под воздействием транспортных нагрузок, но и множества погодно-климатических факторов. На дороги воздействуют температура воздуха, солнечная радиация, атмосферные осадки, ветер, туман, гололедица и другие природные явления, которые являются объективной реальностью и в ряде случаев не могут быть устранены людьми. Поэтому необходимо с учетом этих явлений находить инженерные решения, которые бы обеспечивали сооружениям необходимые технические и эксплуатационные качества, и рекомендовать людям, имеющим отношение к эксплуатации дорог, ряд мер, обеспечивающих здоровье и жизнедеятельность с учетом особенностей погодно-климатических факторов в условиях экстремальных природных явлений.

Дорожное строительство осуществляется в постоянно меняющихся погодных условиях. Технология производства дорожных работ разрабатывается с учетом климатических особенностей местности и численных значений всех основных климатических характеристик. Влияние погодно-климатических факторов еще в большей степени сказывается на состоянии эксплуатируемых дорог. Дождь и туман, снегопады и метели ухудшают видимость на автомобильной дороге, снеговые отложения повышают сопротивление качению автомобиля, а иногда приводят к весьма существенным помехам в выполнении транспортных операций. Увлажнение покрытия и образование гололеда снижают коэффициент сцепления и создают условия, опасные для движения автомобиля. Под влиянием низких температур происходит промерзание грунта и перераспределение в нем влаги, а высокие температуры снижают сдвигоустойчивость покрытий, построенных с использованием органических вяжущих материалов. Суточные и сезонные колебания температуры сопровождаются знакопеременными напряжениями, приводящими к образованию трещин, взбугриванию поверхности покрытий, другим негативным проявлениям.

Направление и скорость ветра заметно влияют на микроклимат района и экологическую обстановку на его территории. «Роза ветров» должна учитываться при размещении заводов и производственных баз по отношению к населенным пунктам, влиять на выбор направления дорожной трассы, расположение снегозащитных и декоративных лесонасаждений.

Погодно-климатические факторы имеют особое значение при выборе сроков и способов производства дорожных работ. Работа с органическими вяжущими эффективно проводится при устойчивых среднесуточных температурах, превышающих +5°C. Продолжительность светового дня обычно учитывается при организации работ в ДСУ, ДРСУ, ДЭУ и других подразделениях дорожной отрасли, при решении вопросов о сменности на производстве, выборе режима освещения дорог и мостов. Время профилировки грунта и подметания проезжей части выбирается с учетом влажности рабочей поверхности, относительной влажности воздуха и сорбционных процессов, протекающих при контакте покрытия и атмосферы.

При решении дорожных и транспортных задач определяются самые разнообразные области учета климатических факторов. Практически все технические вопросы так или иначе связаны с климатом, учетом погодных условий, температурных, радиационных, ветровых и других характеристик. Инженеру-строителю автомобильных дорог и аэродромов необходимо в совершенстве владеть знаниями по метеорологии и климатологии, которые являются неотъемлемой частью решения задач проектирования, строительства и эксплуатации дорог и аэродромов, – т.е. всеми необходимыми знаниями, получение которых предусмотрено программой учебной дисциплины «Дорожная климатология». Инженер-дорожник должен уметь применять эти знания в своей повседневной практической деятельности.

Дорожная климатология является относительно новой наукой, поэтому не все ее положения полностью раскрыты в технической литературе, а многие практические методы не

доведены до требуемой инженерной интерпретации. Современную дорожную климатологию необходимо изучать, ориентируясь на общие положения науки о климате, информацию о метеорологических явлениях, а также на теоретический фундамент специальных учебных дисциплин дорожного цикла. В первую очередь необходимо учитывать научные труды профессоров А.К. Бирули, А.В. Васильева, Н.Н. Иванова, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаева и других, где вопросам учета погодно-климатических факторов уделено особое внимание.

Полезную информацию для изучения дорожной климатологии можно найти также в списке литературы, приведенной в конце настоящего издания.

В учебном процессе на кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета климатологические факторы учитываются в полной мере. Курсовое и дипломное проектирование, как правило, содержит расчетные климатические характеристики для рассматриваемого региона, дорожно-климатические графики, обоснования технологии и организации работ с учетом сезонных особенностей, предложения по сбережению материальных и энергетических ресурсов, охране окружающей среды. Учебным планом по специальности 1-70.03.01 «Автомобильные дороги» предусмотрено изучение студентами дисциплины «Дорожная климатология» в объеме 70 академических часов, что еще более усиливает внимание дорожников к проблеме учета климатических факторов в практике их производственной и научной деятельности.

В 1994 году автором настоящего учебника издано учебное пособие «Дорожная климатология», а в 1995 году переиздано. Особое внимание в нем уделяется справочным данным о метеорологических характеристиках, получаемых на метеорологических станциях Беларуси. Теоретический материал в этом пособии представлен в сжатом виде. На протяжении десяти лет оно в полном объеме обеспечивало потребность студентов факультета транспортных коммуникаций БНТУ, широко использовалось в других высших учебных заведениях Беларуси. Произошедшие изменения не только нормативных документов и уровня обеспечения дорожных организаций метеорологической информацией, а также самого климата республики, потребовали переиздания пособия.

Настоящий учебник отражает современное положение в дорожной отрасли по использованию метеорологических данных, учитывает последние достижения в области метеорологических наблюдений и документы, принятые в последние годы Гидрометеослужбой Республики Беларусь, Министерством архитектуры и строительства и департаментом «Белавтодор». Издание содержит иллюстрации по общим и специальным вопросам климатологии и призвано оказать помощь студентам в освоении необходимой информации по общей и отраслевой климатологии, выработке квалифицированного подхода к принятию решений при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог и дорожных искусственных сооружений. Ограниченный объем учебника не позволил раскрыть все вопросы с исчерпывающей полнотой, тем не менее, он написан в соответствии с программой и, несомненно, будет полезен при изучении дорожной климатологии и других дисциплин, предусмотренных учебным планом по специальности «Автомобильные дороги». Методологию проведения метеорологических наблюдений, изложенную здесь, можно использовать при проведении лабораторных работ по дорожной климатологии.

При подготовке рукописи значительная помощь была оказана сотрудниками ГУ Республиканского гидрометеорологического центра В.М. Жуковским и Е.В. Комаровской, а также доцентом, кандидатом географических наук кафедры общего землеведения БГУ П.А. Ковриго и сотрудниками кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» БНТУ. Эта помощь была принята нами с большой благодарностью.

Выражаем признательность и благодарность рецензентам – кафедре «Автомобильные дороги» Белорусско-Российского университета и заведующей кафедрой канд. техн. наук, доценту Е.В. Кашевской), а также д-ру техн. наук, профессору Белорусского государственного технологического университета Н.П. Вырко.

Замечания и предложения по данному изданию будут встречены автором с пониманием и благодарностью. Их можно направлять по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, БНТУ, кафедра «Строительство и эксплуатация дорог».

1. РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О МЕТЕОРОЛОГИИ И КЛИМАТЕ ЗЕМЛИ

1.1. Общие сведения о метеорологии и климатологии

Еще на заре своей истории люди сталкивались с неблагоприятными атмосферными явлениями. Они обращали внимание на изменения погоды и смену времен года, наблюдали катастрофические явления природы – наводнения, грозы, тайфуны, засухи, отмечали особенности природных условий различных территорий. Не понимая их причин, люди обожествляли грозные и стихийные явления природы, связанные с атмосферой, создавая себе богов – таких как Перун, Зевс, Дажьбог и др. По мере развития цивилизации в Китае, Индии, странах Средиземноморья делались попытки регулярных метеорологических наблюдений, появились отдельные догадки о причинах атмосферных процессов и зачаточные научные представления о климате. Первый свод знаний об атмосферных явлениях был составлен Аристотелем, взгляды которого затем долго определяли представления об атмосфере.

Современная научная метеорология ведет начало с XVII века, когда были заложены основы физики, частью которой на первых порах являлась метеорология.

Метеорологией называется наука об атмосфере, о ее составе, строении, свойствах и протекающих в ней физических и химических процессах. Главные задачи метеорологии – описание состояния атмосферы в данный фактический момент времени и прогноз ее состояния на будущее. В некоторых случаях также возникает необходимость восстановить состояние атмосферы в прошлом.

После изобретения термометра, барометра, дождемера Галилеем и его учениками появилась возможность инструментальных наблюдений. Начиная со второй половины XVII века Академия экспериментирования в Тоскане организовала первую немногочисленную сеть инструментальных наблюдений, которые проводились в нескольких пунктах в Европе. Кроме того, неперменной частью программ всех морских плаваний стало проведение наблюдений за погодой.

В это же время появились первые метеорологические теории. Э. Галлей дал первое объяснение муссонов, Э. Гадлей опубликовал известный трактат о пассатах. К середине XVII столетия М.В. Ломоносов уже выделял метеорологию как самостоятельную науку с собственными методами и задачами, из которых главной, по его мнению, было “предзнание погод”, создал первую теорию атмосферного электричества, построил метеорологические приборы, высказал ряд важных соображений о климате и о возможности научного предсказания погоды.

Во второй половине XVIII века по частной инициативе было организовано Маккгеймское метеорологическое общество, которое создало в Европе на добровольной основе сеть из 39 метеорологических станций (в том числе три в России – в Санкт-Петербурге, Москве, на Пышменском заводе), укомплектованных единообразными и проградуированными приборами. Сеть функционировала 12 лет. Результаты наблюдений публиковались и стимулировали дальнейшее развитие метеорологических исследований.

В середине XIX столетия возникли первые государственные сети станций, появились работы, посвященные описанию климата крупных территорий (К.С. Веселовский. Климат Российской империи, 1854 г.), а позднее – и всего земного шара (Ю. Ганн, 1883г.; А.И.Всейков, 1884 г.; В. Кеппен, 1912 г.). Труды германских ученых А. Гумбольдта и Г.Д. Дове были заложены основы научной климатологии – науки о климате. В научную литературу термин “климат”, который дословно означает “наклонение, наклон”, был введен древнегреческим астрономом Гипссухом из Никеи во II веке до нашей эры.

Климатологией называется раздел метеорологии, в котором изучаются закономерности формирования климатов, их распределения по земному шару и изменения в прошлом и будущем.

Под *климатом в узком смысле, или локальным климатом*, понимают совокупность за многолетний период атмосферных условий, свойственных тому или иному месту в зависимости от географической обстановки. В таком понимании климат является одной из физико-географических характеристик местности.

Климатом в широком смысле, или глобальным климатом, называется статистическая совокупность состояний, проходимых системой атмосфера-океан-суша-криосфера-биосфера за период времени в несколько десятилетий. В таком понимании климат есть понятие глобальное.

Климат является одним из важнейших природных факторов, под непосредственным влиянием которых протекает большинство процессов в верхней части земной коры, атмосфере, гидросфере и биосфере. Он оказывает существенное влияние на развитие жизни, интенсивность разрушений земной поверхности, накопление разнообразных осадочных горных пород, ценных минералов и полезных ископаемых. Под непосредственным воздействием климата развиваются процессы, связанные с перемещением воздушных масс, образуются поверхностные и глубоководные морские течения и многое другое.

Особенности климата обусловлены целым рядом факторов, известных под названием **климатообразующих**. К ним относятся солнечная радиация, циркуляция атмосферы и характер земной поверхности. Постоянное взаимодействие этих факторов и их изменения в количественном выражении в различные геологические эпохи приводят к разным условиям формирования природной среды.

На Земле в современную эпоху, исходя из температурного режима, вертикального строения воздушных масс, характера их циркуляции, влажности выделяются следующие климатические пояса:

- 1) экваториальный;
- 2) экваториальных муссонов;
- 3) тропический;
- 4) субтропический;
- 5) умеренный;
- 6) субарктический;
- 7) арктический;
- 8) субантарктический;
- 9) антарктический.

Геологические процессы, протекающие на земной поверхности, тесно связаны с климатом. От характера климата зависят режим поверхности и грунтовых вод, особенности геохимических процессов, развитие и размещение животного и растительного мира, характер осадконакопления, образование почв, выветривание и многое другое. Вместе с тем, такие главные составляющие климата, как температура, атмосферные осадки, перемещение воздушных масс, одновременно являются основными геологическими силами, изменяющими облик земной поверхности. Под воздействием вполне определенных компонентов климата образуются пустыни, карстовые ландшафты, лесостепи и лесные массивы, разрушаются горы и возвышенности, а обломочный материал перемещается и накапливается в руслах и дельтах рек, озерах и морских бассейнах.

Использование в метеорологии и климатологии точных физических законов, а в последнее время – и сложного математического аппарата роднит эти дисциплины с физико-математическими науками. В то же время все атмосферные движения протекают на нашей планете с характерными только для нее очертаниями материков и океанов, строением рельефа, распределением рек, морей, ледникового, снежного покровов и растительности. Это определяет географичность метеорологии и климатологии и их вхождение в комплекс географических наук.

Около 1820 года Г.В. Брандесу в Германии пришлось в голову нанести на географические карты наблюдения Макклеймской сети станций. Таким образом появились первые синоптические карты, позволившие обнаружить области высокого и низкого давления, которые оказались подвижными и двигались, как правило, с запада на восток. После изобретения телеграфа в 50-х годах XIX в. по инициативе знаменитого астронома У. Лаверьё во Франции и адмирала Р. Фицроя в Англии синоптический метод исследования атмосферных процессов быстро вошел в общее употребление. На

его основе возникла служба погоды и новая отрасль метеорологической науки – синоптическая метеорология.

К середине XIX века относится организация первых метеорологических институтов, в том числе Главной физической (ныне геофизической) обсерватории в Петербурге (1849 г.). Ее директору (с 1868 по 1895 г.) Г.И. Вильду принадлежат историческая заслуга организации в России образцовой метеорологической сети и ряд специальных исследований климатических условий страны. Помощник Г. Вильда, а позднее – директор обсерватории М.А. Рыкачев, был организатором службы погоды в России (в начале 70-х годов).

Во второй половине XIX столетия были заложены основы *динамической метеорологии*, т.е. применения законов гидромеханики и термодинамики к исследованиям атмосферных процессов. Большой вклад в эту область метеорологии был сделан Кориолисом и Пуассоном во Франции, В. Феррелем в США, Г.Гельмгольцем в Германии, Г. Моном и К. Гульдбергом в Норвегии. В это же время исследование климата в тесной связи с общей географической обстановкой было сильно продвинуто трудами великого русского географа и климатолога А.И. Воейкова, а также Ю. Ганна в Австрии, В. Кеппена в Германии и других. К концу столетия усилилось изучение радиационных и электрических процессов в атмосфере.

Появление первых работ по классификации климатов относится к концу XIX – началу XX столетия, когда ученые проводили наблюдения влияния природных явлений на жизнь растений (Гризенбах – в 1872 г., Декандоль – в 1874 г.). Эти классификации основывались на ботанических показателях, так как в то время решалась задача ботанического районирования Земного шара, и явная связь распределения растительности с климатическими условиями обратила на себя внимание ученых.

Описательное направление ставило своей задачей выделение климатических провинций, т.е. однородных по климатическим особенностям географических районов, вне связи их с аналогичными районами в других местах. Таким путем устанавливались только разнообразные факты, но не делалось попыток их обобщения для Земли в целом. Климатические провинции приурочивались, по возможности, к тем или иным странам и носили их название. Особенно яркое выражение идея климатических провинций получила в работах Зупана (1884 г.) и Хульта (1892 г.). В числе климатических провинций, выделенных Зупаном, имеются, например, провинции Среди-земноморская, Капская, Калифорнийская. Однако несмотря на большое сходство климата в этих странах в классификации это ничем не отмечено. Не указывается даже на сходство климатов крупнейших тропических пустынь, таких как Сахара и Австралийская пустыня, – для Зупана это – только отдельные, ничем между собой не связанные климатические провинции. Хульт не вносит в решение задачи климатического районирования ничего принципиально нового, только вместо 35 провинций Зупана он устанавливает 103. Очевидно, что если идти дальше в том же направлении, число климатических провинций можно еще значительно увеличить. Основным недостатком классификации климатов по методу провинций следует считать отсутствие понятия о типах климата. Одновременно с разработкой схемы районирования на основе выделения климатических провинций Зупан делит Земной шар на термические пояса, не совпадающие с соляными поясами греков (1879 – 1896 гг.).

В 1884 году А.И. Воейков и В. Кеппен предложили другой подход к делению Земли на термические пояса на основании природных факторов, представляющих собой крупный шаг вперед в климатологии, так как коренным образом перестраивалось устаревшее понятие о климате в зависимости только от географической широты, шедшее еще от древних греков.

Генетический подход к системам классификации климата в дальнейшем начинает интенсивно развиваться. Вполне четко он сформулирован в работах П.И. Броунова, относящихся к первой четверти XX столетия. Ученый писал, что барический рельеф вместе с солнцем – это база всех процессов, происходящих на Земле, база всей жизни планеты. От барического рельефа зависят ветры, от них – влажность, температура, облачность, осадки и т.д., т.е. весь сложный комплекс явлений, которые характеризуют климат и от которых зависят почва, растительность и животный мир.

Исходя из этого Броунов принимает за климатические границы оси наиболее значительных областей пониженного и повышенного давления (по средним годовым данным). Вдоль южной и северной субтропических областей высокого давления он проводит линии наибольшего давления, которым дает название *осей затропических максимумов*. Таким же образом он проводит оси полярного и экваториального минимума.

Основываясь на совершенно бесспорных положениях о первостепенном наряду с солнечной радиацией климатологическом значении атмосферной циркуляции, П. Броунов все же недоучитывает роль сезонных изменений этих факторов, которые являются основными в процессе климатообразования, и старается свести все к средней годовой картине. Он даже рассматривает особенности атмосферной циркуляции в январе и июле как нарушение климатологического, более верного с его точки зрения, среднего годового распределения.

Развитие метеорологии в XX столетии шло нарастающими темпами. В краткой характеристике этого развития следует отметить всего несколько областей. Успехи динамической метеорологии в первой четверти XX в. связаны с трудами В. Бьеркнеса и его учеников в Норвегии, М. Маргулеса в Австрии, В. Нэпир-Шоу в Англии, А.А. Фридмана, Н.Е. Кочина, И.А. Кибеля, Л.В. Келлера в СССР, К.Г. Россби в Швеции. Работы по теоретической метеорологии, особенно в Советском Союзе, все более сосредотачивались на проблеме численного прогноза, хотя пионерская работа Л. Ричардсона (Англия) в 1922 году окончилась неудачей. Первый крупный успех в этой области был достигнут И.А. Кибелем в 1940 г. Дальнейшее развитие теория прогноза метеорологических полей получила в работах академика Г.И. Марчука, академика А.М. Обухова, Е.Н. Блиновой, Н.И. Булеева, М.И. Юдинка, А.Ф. Дюбюка и других в СССР, К.Г. Россби, Ж. Черни, Н. Филлипса, Дж. Смагоринского в США и других ученых. С появлением ЭВМ эти первоначально чисто теоретические исследования очень быстро нашли применение в практике работы службы погоды СССР, США, Англии, Франции, Германии и многих других стран. Синоптическая метеорология также быстро шагнула вперед, особенно благодаря работам В. Бьеркнеса, Я. Бьеркнеса, П. Сольберга, Т. Бержерака в Норвегии, А.И. Ашкеназия, С.П. Хромова, Х.П. Погосьяна, В.А. Бугаева, В.А. Джорджио, Н.Л. Табаровского, Б.Д. Успенского в СССР, С. Петтерсена в Норвегии и США.

Большие успехи достигнуты в начале XX века в области аэрологических исследований. Во многих странах выдвинулись выдающиеся организаторы и исследователи в этом тогда еще новом направлении. В частности, в 1902 году А. Тейсеран де Бор (Франция) открыл существование тропопаузы и стратосферы. Это открытие вскоре было подтверждено Р. Ассманом (Германия). Позднее стало знаменитым имя изобретателя первого радиозонда П.А. Молчанова. Широкое использование радиолокационной техники для аэрологических исследований связано с именами Г.И. Голышева, В.В. Костарева, Б.Д. Рождественского. На основе достижений во всех указанных областях метеорологии к настоящему времени появилось очень много фактического материала и углубились теоретические представления об общей циркуляции атмосферы – механизме великого круговорота воздуха на Земле.

Замечательные результаты в исследовании турбулентных закономерностей атмосферных движений, строения приземного и пограничного слоев, а также процессов тепло- и влагообмена в них получены за последние 30-40 лет в России академиками А.Н. Колмогоровым, А.М. Обуховым, А.С. Мониним и многими другими исследователями. Развитие народного хозяйства привело к необходимости более тщательного учета свойств атмосферных процессов, поэтому стали интенсивно развиваться многие отрасли прикладной климатологии – такие как авиационная, медицинская, строительная и др.

Современная климатология со всеми ее разделами представляет собой обширную науку, базирующуюся, с одной стороны, на изучении многолетнего хода климатообразующих процессов, с другой – на всесторонних географических исследованиях – геоботанических, почвенных, геоморфологических и других.

Практическое значение климатологии очень велико, особенно в сельском хозяйстве. Выбор сельскохозяйственных культур, улучшение существующих и создание новых полезных растений,

процесс агротехники проходит параллельно с изучением климата территории. На основе климатических данных производится районирование страны в целях наиболее выгодного размещения отраслей сельскохозяйственного производства (полеводства, животноводства, садоводства, лесоводства и др.), а также разработка и применение приемов агротехники, отвечающих местным климатическим условиям.

Учет климатических условий необходим при строительстве гидротехнических сооружений, автомобильных дорог и мостов. Знание климата нужно для обслуживания авиации, изыскания автотрасс, составления аэрологии, строительства аэропортов. Климатические данные используются при эксплуатации автомобильного, железнодорожного и водного транспорта, строительстве городов, а также в здравоохранении и в различных видах промышленности (деревообделочной, торфяной, табачной и др.).

Очень велика и ответственна роль климатологии в обслуживании народного хозяйства, что требует дальнейшего развития исследований и разработки методических вопросов в этой области. В числе актуальных задач, стоящих в настоящее время перед климатологией, особенного внимания требует разработка количественных характеристик влияния местных факторов на климат и методов их картографирования.

В нашей стране, как и во всем мире, объем метеорологических исследований и число публикаций по этим вопросам постоянно растут; накоплен большой опыт международного сотрудничества в проведении таких международных программ, как программа исследования глобальных атмосферных процессов, и уникальных экспериментов, подобных Международному геофизическому году (1957 – 1958 гг.), Атлантическому тропическому эксперименту (1974 г.) и др.

Развитие человечества выдвигает перед метеорологией все новые глобальные проблемы, требующие коллективных усилий метеорологов всех стран.

Наметившимся тенденциям глобального изменения климата должны быть противопоставлены эффективные меры по защите окружающей среды и устранению факторов, отрицательно влияющих на природу нашей планеты.

1.2. Исследование метеорологии и климатологии в Беларуси

Первые сведения о погоде и климате нашей Родины находятся в белорусских летописях и хрониках. Из летописей вытекает, что в IX-XII вв. в Беларуси происходило потепление климата, а в XIV-XVII вв. – его похолодание. Летописные сведения о погоде и климате показывают правильность наблюдений, созвучных с современными оценками изменения климата в прошлом.

Например, в Витебской летописи находим: “В год 1664, месяца августа, 3 дня вокруг Витебска был большой град, побил поля все, растительность”; “В году 1665, месяца мая, 26 дня выпал по колени снег и лежал 3 дня”; “В год 1696 Двина не замерзала целый год” (согласно И.М. Шарухо, 2001 г.).

В стародавние времена в Беларуси сложилась народная метеорология, в основе которой лежали местные природные приметы, по которым люди могли предсказывать погоду в ближайшем будущем. В качестве местных примет погоды рассматривались характер облаков, дальность видимости, оптические явления в атмосфере, поведение животных, своеобразные реакции растений и животных на изменение метеорологических условий и др.

Научная литература приходила в Беларусь из Западной Европы. Большую популярность здесь имела книга Аристотеля “Метеорологика”. На основе изучения европейской литературы писались и свои книги, которые содержали научные сведения о небесных телах, строении Земли, воде, воздухе в разных странах.

Различные сведения о погоде и климате встречаются в монастырских книгах. Так, К. Туровский (XII в.), освоивший знания и идеи византийского и римского мира, пробовал объяснить в своей книге природные и атмосферные явления. В многочисленных трудах гениального белорусского ученого-энциклопедиста Ф. Скорины (XVI в.), в свое время издавшего первую

печатную белорусскую книгу, имеются сведения по географии и природным явлениям. Великий гимн белорусской природе создал Н. Гусовский в поэме «Песня про зубра».

Наибольший расцвет стародавней науки и культуры Беларуси приходится на XV-XVII вв. – Золотой век страны. В это время весьма значительными были достижения в многочисленных отраслях науки и культуры, в том числе в географии и климатологии. Так, Николай Радзивилл Сиротка совершил путешествие на Ближний Восток и описал в своих трудах природу и климат тех мест, которые посетил. Его записки способствовали развитию интереса к наблюдениям за атмосферными явлениями и погодой в Беларуси.

В XVIII в. в Беларуси начали печататься отечественные школьные учебники: «Современная география» (1786, 1794 гг.), «Общая география» (1773 г.). В 1750 году напечатаны «Географические карты Галлии, Германии, Польши и Великого Княжества Литовского». В учебных заведениях предусматривалось обязательное изучение природоведения, которое включало физико-географический и метеорологический материал. Например, учебник по математической географии Яна Снедетского включал сведения о земной атмосфере и атмосферных явлениях.

Первые научные исследования погоды и климата Беларуси относятся к XVIII в. При школах, училищах, колледжах и гимназиях открывались метеорологические станции и велись журналы наблюдений за изменениями погоды.

Однако формирование государственной сети метеорологических станций в начале XIX века началось раньше, чем в некоторых странах Европы. Первые метеорологические станции были созданы в Могилеве (1809 г.), Витебске (1810 г.), позднее – в Бресте (1834 г.), Бобруйске, Свислочи (1836 г.), Минске (1849 г.), Гродно (1839 г.), Горках (1834 г.), Быхове (1881 г.), Чечерске (1885 г.), Пружанах (1886 г.), Мозыре (1889 г.), Калинковичах, Барановичах, Гомеле (1891 г.), Лепеле (1893 г.), Марьиной горке, Борисове (1894 г.), Полоцке, Лиде (1909 г.), Волковыске (1905 г.), Ошмянах, Лельчицах (1909 г.), Толочине (1914 г.) и в других местах. Эти станции сформировали основу современной метеорологической сети Беларуси (рис. 1.1).

Более полные стационарные сведения о метеорологических наблюдениях имеются на станции в Горках, организованной при Земледельческом институте.

Первые научные обобщения материалов по метеорологии в Беларуси принадлежат русскому климатологу А.И. Воейкову. В 1899 г. издана его работа “Климат Полесья”, в которой на примере данных метеонаблюдений в Припятском Полесье исследуется воздействие осушения болот на климат края.

В первой половине XX в. почти вся территория нашей родины была покрыта обильной сетью метеостанций. Так, в 1940 г. работала одна метеостанция I разряда (Минск), 60 метеостанций II разряда, 90 – III.

Собранные на этих станциях за много лет сведения и материалы плодотворно использовались белорусским ученым в области климатологии и геофизики академиком АН БССР А.И. Кайгородовым, который с 1919 г. заведовал кафедрой метеорологии и климатологии в Сельскохозяйственном институте, а с 1930 г. работал директором Белорусской геофизической обсерватории.

Акад. А.И. Кайгородов заложил основы климатологии, сельскохозяйственной метеорологии и службы погоды Беларуси, впервые обобщил данные многолетних наблюдений всей сети метеостанций с 1871 по 1917 год. А.И. Кайгородов считал климат важнейшим природным компонентом, воздействующим на все стороны органической и неорганической жизни и человеческой деятельности.

Результаты исследований А.И. Кайгородова имеют не только научное, но и важное прикладное значение. Они направлены на выявление климатических ресурсов и их эффективное использование в сельском хозяйстве, улучшение его специализации и рациональное размещение сельскохозяйственной продукции.



Рис. 1.1. Метеорологические станции в Беларуси

Исследователями выявлены главные факторы, которые воздействуют на формирование климата. К ним относятся:

- 1) количество солнечной энергии;
- 2) удаление от океанов;
- 3) высота над уровнем моря.

Географическое положение страны определяет воздействие на нее разных типов воздушных масс, приходящих с севера и юга, востока и запада.

До сих пор очень актуален «Климатический атлас Беларуси», составленный А. Кайгородовым. Атлас состоит из 78 карт по давлению, направлению и скорости ветра, абсолютной и относительной влажности, сумме активных температур. Проведено сельскохозяйственное районирование республики; выделены 7 агроклиматических районов, для которых определены количественные характеристики средних температур и сумм активных температур воздуха, протяженность вегетационного периода, суммы атмосферных осадков. Акад. Кайгородов также разработал и теоретически обосновал ряд климатических методов анализа природы Беларуси.

В послевоенные годы метеосеть Беларуси была обновлена. Большую работу по сбору, обработке и изданию метеорологических данных провели работники Минской гидрометеорологической обсерватории. Здесь были созданы и успешно работали отделы климата, агрометеорологии, атмосферной оптики, гидрологии и синоптики. Сотрудниками этих отделов изданы ряд климатических и агро-климатических справочников, много научных сборников. Наиболее полное и глубокое обобщение данных метеонаблюдений Беларуси осуществил профессор А.Х. Шкляр (1910-1977 гг.), который существенно развил теорию климатических проблем республики, издал ряд фундаментальных монографий. Профессор Шкляр проанализировал условия увлажнения на территории Беларуси в период вегетации культурных растений. Установлено, что в начальный период вегетации создается напряженный баланс влажности: испарение превышает атмосферные осадки. Ученый разработал оптимальные сроки посева сельскохозяйственных культур, агроклиматическое районирование, установил для него объективные показатели, выделил агроклиматические районы, тесно связанные с физико-географическими районами.

Климатические исследования современного периода основываются на устойчивом фундаменте теоретических разработок, созданных предыдущими поколениями климатологов Беларуси. В 70-90 годы XX века приведен большой объем микроклиматических исследований. Разработана методика организации и проведения микроклиматических исследований природных и природно-антропогенных систем; изучены 3 компонента геосистемы – климат почвы, фитоклимат, климат околоземного слоя воздуха, которые объединяются процессами тепло- и влагообмена, непрерывно протекающими в пределах геосистемы. Разработана методика построения масштабных микроклиматических карт, которые позволяют выращивать сельскохозяйственные культуры в соответствии с особенностями микроклимата хозяйства и даже конкретного поля.

Изучена структура радиационного и теплового баланса на болотных и минеральных почвах, занятых посевами сельскохозяйственных культур (картофеля, ячменя, трав) при разных способах мелиорации. Исследовано воздействие на микроклимат разных способов осушения – закрытого и открытого дренажа, а также орошения. Изучено воздействие этих способов мелиорации на формирование водного и температурного режимов торфяно-болотных и дерново-подзолистых почв.

Фундаментальное обобщение материалов метеорологических наблюдений на основе современных методов анализа проведено коллективом ученых под руководством академика В.Ф. Логинова (1996, 2002, 2003 гг.). В трудах ученых дается характеристика современного климата Беларуси; приводятся сведения об изменениях климата за период инструментальных наблюдений; при этом обсуждаются причины и сценарии изменений глобального климата и климата Беларуси.

Акад. В.Ф. Логинов (1992, 2002 гг.) проанализировал внешние и внутренние факторы климатических изменений, уделив особое внимание газовому и аэрозольному составу атмосферы, а также электромагнитному и корпускулярному излучению, обусловленному вулканической и антропогенной деятельностью людей. Кроме того, он определил общие принципы сбора, передачи, контроля, обработки и сохранения гидрометеорологической информации.

Актуальные современные проблемы климатологии и агроклиматологии освещены в коллективной монографии «Изменение климата и использование климатических ресурсов» под редакцией П.А. Ковриги (2001 г.), в которой на глобальном и региональном уровнях анализируются изменения температуры и атмосферных осадков.

Использование количественных и математических методов, а также компьютерного моделирования при анализе структуры гидрометеорологического режима Беларуси исследовано Р.И. Сачком (1980, 1994 гг.). Агроэкологическое исследование климата и климатических ресурсов республики проведено А.М. Витченко (1996 г.). Большое место вопросам метеорологии и климатологии отведено в Белорусской энциклопедии (автор статей – П.А. Ковриго) и в Атласе Республики Беларусь. Некоторые заимствованные там карты метеорологических характеристик приведены в приложениях настоящего издания.

1.3. Краткие сведения об ученых-метеорологах и климатологах

Лев Семенович Берг (14.03.1876-24.12.1950) родился в г. Бендеры Молдавии. Известный российский ученый в области физической географии и биологии, академик АН СССР (1946 г.), заслуженный деятель науки РСФСР (1934 г.), профессор Петроградского (затем – Ленинградского) университета (1916 г.), проводил исследования в Западной Сибири, Средней Азии, на Кавказе, Восточно-Европейской равнине и др.; разработал учение о ландшафтах, почвенную теорию образования лесов, классификацию климата на ландшафтной основе; занимался ихтиологией. Академик Л. Берг – автор работ по геоморфологии, палеографии, геологии, исследователь истории Российских географических открытий и Географического общества СССР, Президент Географического общества СССР (1940-1950 гг.), лауреат Государственной премии СССР (1951 г.). Именем Берга названы действующий вулкан на острове Уруп (Курильские острова), пик на Памире, ледники на Памире и в Джунгорском Алатау и др. Имя акад. Берга вошло в латинские названия более чем 60 животных и растений.

Михаил Иванович Будыко родился 20.01.1920 в г. Гомеле. Известный российский ученый в области геофизики, академик Российской АН (1964 г.). В 1942 г. окончил Ленинградский политехнический институт; работал в Главной геофизической лаборатории им. А.И. Воейкова; с 1954 г. – ее директор. Основные научные труды акад. Будыко относятся к физической климатологии, биоклиматологии, актинометрии. Совместно с А.А. Григорьевым ученый сформулировал периодический закон географической зональности, изучал тепловой баланс поверхности. В 1958 г. ему была присуждена Ленинская премия СССР.

Александр Иванович Воейков (20.05.1842-09.12.1916) родился в г. Москве. Российский климатолог и географ, основатель климатологии в России, член-корреспондент Российской АН (1910 г.). Путешествовал по Европейской части России, Белорусскому Полесью (1891 г.), Кавказу, Крыму, Средней Азии, Западной Европе, многим странам Азии, Америки. В научном труде «Климат земного шара, особенно России» (1988 г.) раскрыл физическую сущность и рассмотрел структуру климатических процессов, роль отдельных климатических факторов, взаимосвязь климата разных территорий с другими компонентами природы, разработал классификацию рек согласно гидрологическим режимам, исследовал возраст и географию населения, агроклиматологию, заложил основы палеоклиматологии и сельскохозяйственной метеорологии и фенологии. Именем А.И. Воейкова названы пролив между островами у Крымской гряды, ледник на Северном Урале, Главная географическая обсерватория в Санкт-Петербурге.

Марк Абрамович Гольберг родился 21 ноября 1926 года в Кировограде (Украина). В 1950 г. окончил физико-математический факультет БГУ. Кандидат физико-математических наук (1968 г.); до 1958 г. занимался педагогической работой. Вся его дальнейшая деятельность связана с гидрометеорологической службой Беларуси и Межгосударственным советом по гидрометеорологии (МСГ). Работал инженером и начальником отдела, директором Минской обсерватории, главным инженером и начальником Белорусского гидрометеоцентра, председателем исполкома (МСГ), выполнял другие функции в системе гидрометеорологической службы. Его научная работа связана с исследованием солнечной радиации, прозрачности атмосферы, климата и агроклимата Беларуси, микроклимата городов и лесных массивов, с автоматизацией метеорологических наблюдений. Результаты его климатических исследований вошли в издания, опубликованные в Беларуси в виде справочников, монографий и методических пособий. Всего им опубликовано более 80 научных работ.

Фридрих Генрих Александр Гумбольдт (14.09.1769-06.05.1859) – немецкий исследователь, путешественник, ученый-энциклопедист, один из основателей страно- и ландшафтоведения, географии растений, член Берлинской АН (1800 г.). Учился в университете Франкфурта-на-Майне, в Гамбургской торговой и Фрайбергской горной академии (1787-1792 гг.). В 1799 г. совместно с французским ботаником Э.Бонпланом исследовал Центральную и Южную Америку. В 1829 г. осуществил поездку на Урал, Алтай и Каспийское море. В труде «Космос» сделал попытку объединить все знания о Вселенной и природе Земли. Его труды существенно повлияли на развитие природоведения. Именем Гумбольдта названы хребты в Центральной Азии и Южной Америке, гора на острове Новая Каледония, ледник в Гренландии, океанические течения возле берегов Перу, ряд растений, минерал гумбольдит, кратер на Луне.

Алексей Иванович Кайгородов (14.11.1881-27.09.1951) родился в г. Новгороде в России. Белорусский ученый в области климатологии и геофизики, доктор физико-математических наук (1934 г.), профессор (1949 г.); академик АН Беларуси (1947 г.). С 1939 г. работал в Горецком сельскохозяйственном институте, в 1930-1939 гг. – директор Белорусской геофизической обсерватории, одновременно (1932-1938 гг.) работал в физико-техническом институте АН Беларуси, с 1940 г. – в Москве. Изданы его научные труды по сельскохозяйственной метеорологии, исследования климата и микроклимата республики, где разработаны рекомендации по срокам сева и других сельскохозяйственных работ в Беларуси. Акад. Кайгородов также предложил классификацию климатов Земного шара.

Владимир Павлович Кеппен (08.10.1846-22.06.1940) родился в Санкт-Петербурге, учился в Петербургском университете. В 1872-1875 гг. работал в Главной физической обсерватории. В 1875 г. переехал в Германию, а затем – в Австрию. Его научные труды относятся к климатологии, общей, синоптической и морской метеорологии. Он изучал климатические условия различных

районов земли, повторяемость и движения циклонов и антициклонов, влияние солнечной активности на погоду и климат, климаты прошлого и др., создал классификацию климатов Земли.

Павел Антонович Ковриго родился 18.06.1946 года в деревне Кайтени Молодечненского района Минской области. Окончил географический факультет Белорусского государственного университета (1969 г.) и аспирантуру (1972 г.). Прошел годичную научную стажировку в Германии по проблемам экологии; обучался на ФПК при МГУ им. М.В. Ломоносова. Известный ученый в области климатологии и фенологии, кандидат географических наук (1974 г.), доцент (1985 г.). Проводит исследования по проблемам климатологии, агроклиматологии. К числу его важнейших работ относятся: «Микроклимат болотных экосистем и его оптимизация» (1995 г.), «Лабараторны практыкум па метэаралогіі і кліматалогіі» (1997 г.) и др. Автор ряда карт по климатологии и фенологии, которые вошли в атласы Республики Беларусь. Всего опубликовано более 100 его научных и учебно-методических работ.

Гаспар Гюстав Кориолис (1792-1843 гг.) – французский математик и инженер. Установил закономерности движения тел во вращающихся системах координат. Его именем названы фиктивные силы, которые используются для объяснения особенностей движения воздушных масс над поверхностью Земли.

Николай Иванович Костюкевич (09.05.1904-09.12.1978) родился в дер. Ворковичи Слуцкого района Минской области. Известный белорусский ученый в области метеорологии, доктор сельскохозяйственных наук (1961 г.), профессор (1962 г.). В 1928 г. окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию, с 1957 г. работал в Белорусском технологическом институте. Изданы его научные труды по гидрологической роли лесов, лесной метеорологии, охране природы.

Владимир Федорович Логинов родился 08.03.1940 в д. Зеленовка Городокского района Витебской области. Известный ученый в области географии и геофизики, академик НАН Беларуси (2000 г.), доктор географических наук (1982 г.), профессор (1989 г.). Окончил Арктический факультет Ленинградского высшего инженерного морского училища (1963 г.); работал в Сибирском отделении АН СССР, Всесоюзном институте гидрометинформации Главной геофизической обсерватории (г. Ленинград). С 1990 г. работает в Институте проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, в настоящее время является его директором. Проводит научные исследования по проблемам современной климатологии, природных и антропогенных воздействий на климат. Опубликованные им научные работы раскрывают причины и следствия климатических изменений, которые происходят в последние годы. Под его руководством с 1991 г. ежегодно издается Экологический билльютень «Состояние природной среды Беларуси» и разработан прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010 – 2020 гг.

Михаил Васильевич Ломоносов (19.11.1711-15.04.1765) родился в д. Денисовка (теперь Ломоносово) Холмогорского района Архангельской области. Учился в Славяно-греко-латинской академии в Москве (1731-1735 гг.), в академическом университете в Петербурге (1735 г.), в Германии (1736-1741 гг.). Академик Петербургской АН, Почетный член Шведской (1760 г.) и Берлинской (1764 г.) АН, выдающийся российский ученый в области естествознания, поэт, художник, историк, просветитель. Открыл существование атмосферы на Венере (1761 г.); был руководителем Географического департамента. С его участием составлен географический «Атлас Российский». Исследовал морские льды и дал их первую классификацию; высказал суждение о влиянии атмосферной циркуляции на климат.

Чарльз Уоррен Торнтвейт (1889-1963 гг.) – американский климатолог, классифицировавший типы климатов по показателю влажности. Известно, что в любой точке Земли количество воды, доступное растениям, и сток определяются соотношением осадков и солнечной радиации. Ученый назвал это соотношение водным балансом.

Уильям Феррел (1817-1891 гг.) – американский метеоролог, открывший закон атмосферной циркуляции, согласно которому все метеорологические объекты на поверхности Земли в северном полушарии смещены вправо, а в южном – влево. Исследовал движения приливов, течений и штормов, выявил закономерности образования приливов, позволяющие прогнозировать их силу.

Абрам Хаймович Шкляр (27.09.1910-01.01.1977) родился в д. Могильно Узденского района Минской области. Ученый в области географии и климатологии, доктор географических наук

(1964 г.), профессор (1965 г.). Окончил Белорусскую сельскохозяйственную академию (1931 г.); работал в государственных организациях Беларуси (1931-1935 гг.), на преподавательской работе в Минском пединституте (1935-1940 гг.). Перед Великой отечественной войной, а после нее – с 1946 г. работал в Белорусском государственном университете, с 1974 г. – заведующим кафедрой. Его научные труды относятся к сельскохозяйственной климатологии, фенологии, охране природы, физической географии Беларуси, мелиорации земель Полесской низменности. В 1962 г. вышла его монография «Климат Белоруссии и сельское хозяйство». А. Шкляр является автором учебных пособий по географии для вузов Беларуси. Участвовал в составлении Атласа БССР.

Ольга Филипповна Якушко родилась в 18.03.1921 в г. Минске. Белорусский ученый в области географии и озероведения, доктор географических наук (1970 г.), профессор (1972 г.). Окончила Белорусский государственный университет (1945 г.) и в дальнейшем постоянно работает в этом вузе. Основные направления исследований – геоморфология, лимнология и ландшафтоведение Беларуси, палеология. Является автором учебников для школ и вузов Беларуси.

Значительный вклад в развитие геоморфологии и гидрологии внесли сотрудники кафедры «Общего землеведения» Белорусского государственного университета д-р географич. наук П.С. Лопух, канд. географич. наук А.А. Макаревич и Ю.Н. Емельянов, сотрудники ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр».

2. ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ И ЕЕ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

2.1. Общая характеристика Земли

Земля – третья по расстоянию от Солнца планета Солнечной системы. Оборачивается вокруг Солнца по эллиптической орбите, близкой к круговой (эксцентриситет – 0,017) со средней скоростью 30 км/с (108 тыс. км/ч) (рис. 2.1).

Среднее расстояние от Земли до Солнца – 149,6 млн. км (одна астрономическая единица), период обращения – 365,24 средних солнечных суток (тропический год). Земля имеет форму трехосного эллипсоидного сфероида (геоида), средний радиус которого – 6371 км, экваториальный – 6378,2 км, полярный – 6356,8 км; длина окружности экватора – 40075,7 км. Площадь поверхности Земли – 510,2 млн. км² (в т.ч. суша – 149,1 млн. км², или 29,2 %, моря и океаны – 361,1 млн. км², или 70,8 %), объем – $1082 \cdot 10^{12}$ км³, масса – $5976 \cdot 10^{21}$ кг, средняя плотность – 5518 кг/м³ (5,15 г/см³). Беларусь занимает 0,139 % территории суши (207,6 тыс. км²). Возраст Земли – около $4,5 \cdot 10^9$ лет. Планета имеет магнитное, гравитационное и электрическое поля. В ее составе преобладают железо (34,6 %), кислород (29,5 %), кремний (15,2 %) и магний (12,7 %). Земля вращается вокруг своей оси, имеющей наклон к плоскости эклиптики, равный $66^{\circ}33'22''$, за 23 часа 56 минут (звездные сутки). Период вращения относительно Солнца (солнечные сутки) – 24 часа. С вращением Земли вокруг Солнца и наклоном земной оси связана смена на Земле пор года, с вращением ее вокруг оси – смена дня и ночи. Смена пор года и продолжительность дня и ночи зависят от положения Земли по отношению к Солнцу (рис. 2.2) 21 марта и 23 сентября.

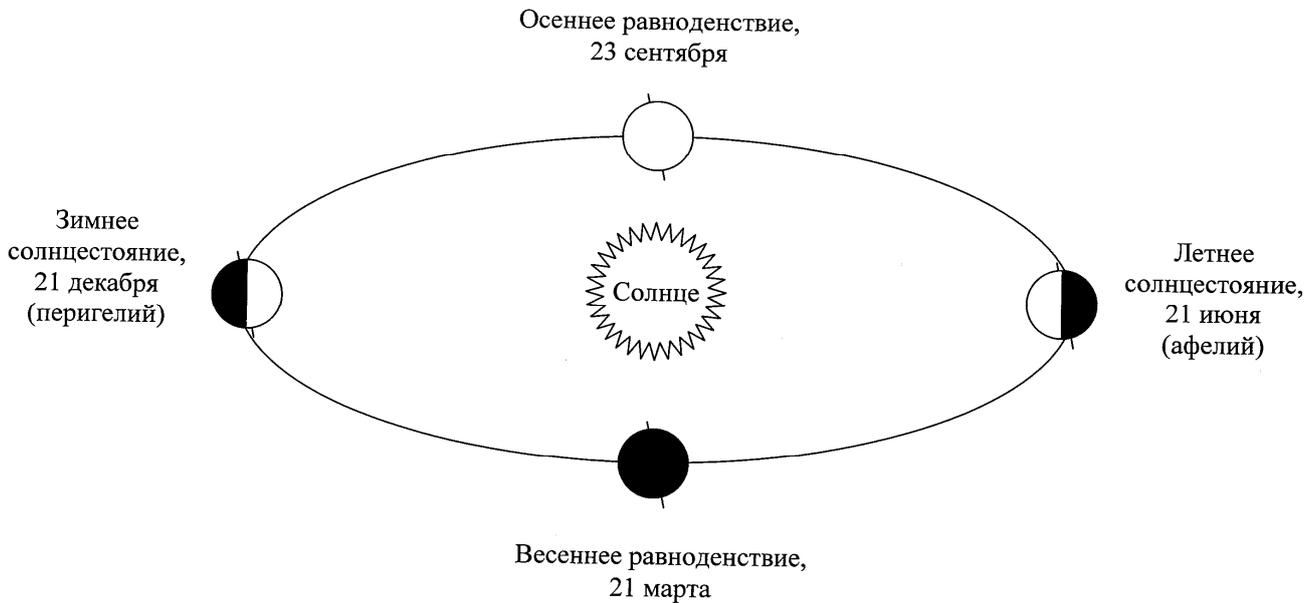


Рис. 2.1. Схема вращения Земли вокруг Солнца

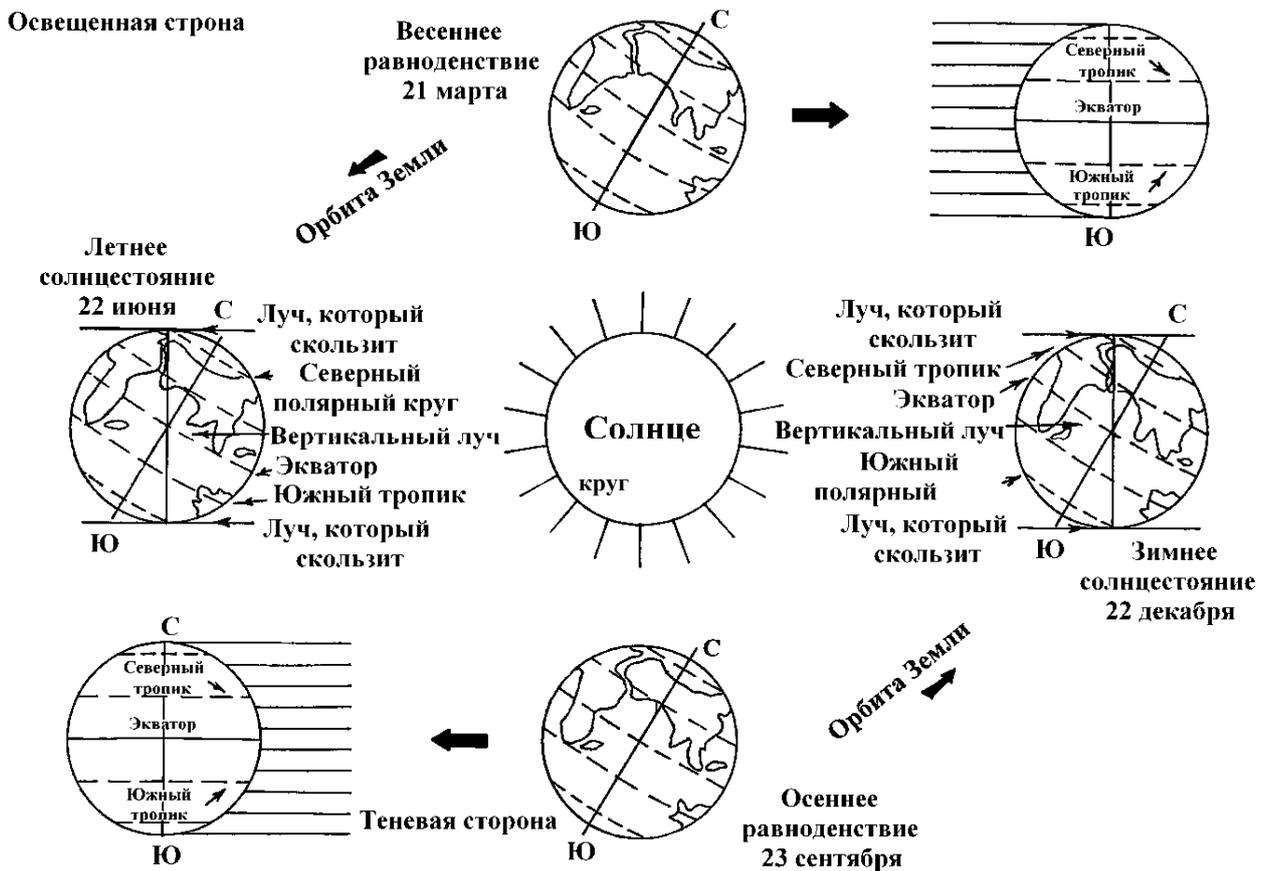


Рис. 2.2. Положение Земли относительно Солнца в различные поры года

Когда Солнце находится в зените над экватором, это соответствует **равноденствию** (одинаковая продолжительность дня и ночи на обоих полушариях). Когда оно смещается на север (до тропика Рака), в северном полушарии (с 21 марта по 22 июня) – весна, а в южном – осень. С 22 июня по 23 сентября в северном полушарии продолжается лето, а в южном – зима. С 23 сентября Солнце перемещается к тропику Козерога. В это время в северном полушарии (с 23 сентября по 22 декабря) наступает осень, а в южном – весна. Затем в период с 22 декабря по 21

марта в северном полушарии имеет место зима, а в южном – лето. Дни, когда Солнце находится над тропиками, называются соответственно *весенним и зимним солнцестоянием*. Высота солнца для различных широт северного и южного полушарий приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Высота Солнца над горизонтом в полдень

	21 марта	21 июня	23 сентября	22 декабря
Северный полюс	0°	23,5°	0°	-
Северный полярный круг	23,5°	47°	23,5°	0°
Северный тропик	66,5°	90°	66,5°	43°
Экватор	90°	66,5°	90°	66,5°
Южный тропик	66,5°	43°	66,5°	90°
Южный полярный круг	23,5°	0°	23,5°	47°
Южный полюс	0°	-	0°	23,5°

В зависимости от теплового и влажностного режима, циркуляции воздушных масс, ритмики биогеохимических и геоморфологических процессов, вегетации растительности, состава почвы и растительного покрова, животного мира и других особенностей территория суши земной поверхности разделяется на ряд *физико-географических поясов*, соотношение которых представлено на рис. 2.3.

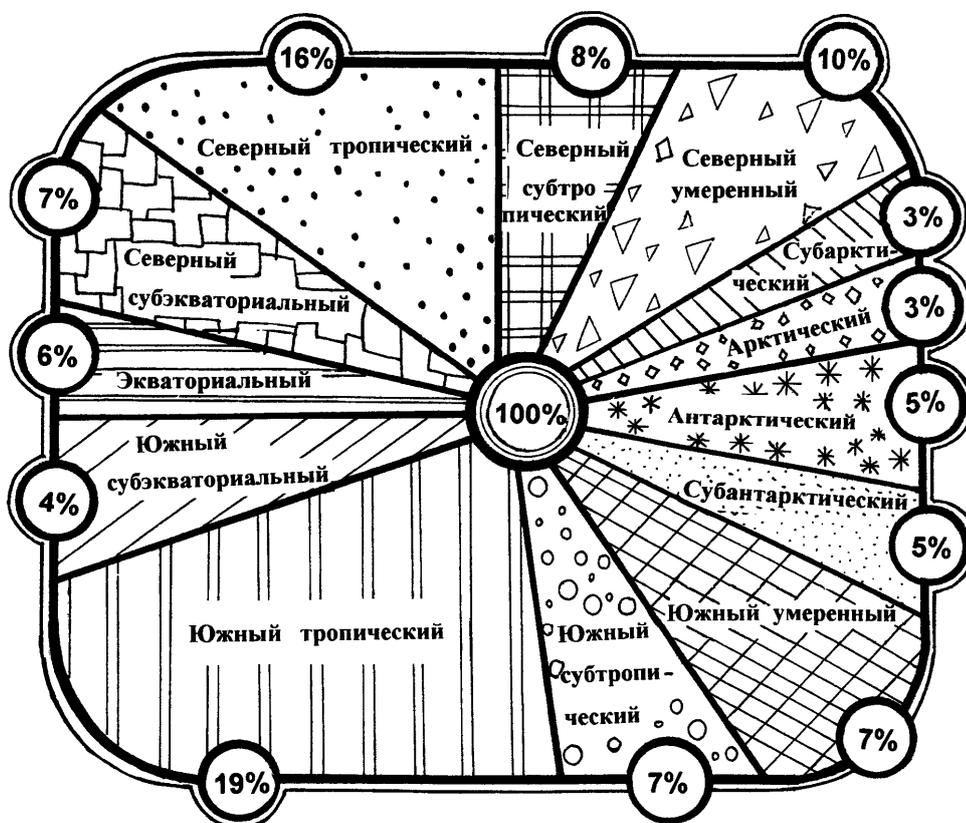


Рис. 2.3. Соотношение площадей суши, занятых географическими поясами

Вместе с изменением полуденной высоты Солнца над горизонтом в зависимости от широты и времени года изменяются и продолжительность дня и ночи, как видно из данных табл. 2.2

Таблица 2.2

Изменение продолжительности дня в зависимости от географической широты

Широта	Наиболее длинный день		Наиболее короткий день	
	часы	минуты	часы	минуты
0°	12	-	12	-
30°	13	56	10	4
60°	18	30	5	30
66,5°	24	-	0	

С положением Земли относительно Солнца связана солнечная радиация на нашей планете. Координаты точки М на местности определяются как пересечение соответствующих параллели и меридиана (рис. 2.4).

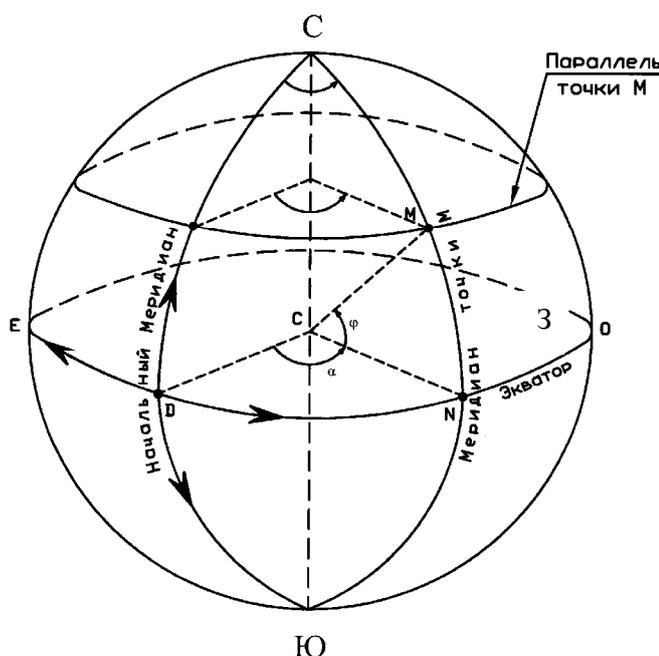


Рис. 2.4. Географическая сетка земной поверхности

2.2. Атмосфера

2.2.1. Состав атмосферы

Атмосфера – это газовая оболочка Земли, простирающаяся на высоту до 36 тыс. км. Резкой верхней границы она не имеет. В газовой оболочке Земли различают ряд сфер: **тропосфера** (до 16 км), **стратосфера** (16-50 км), **мезосфера** (50-80 км), **термосфера** (80-300 км), **ионосфера** (300-800 км), **экзосфера** (более 800 км). Между сферами имеются прослойки: **тропопауза**, **стратопауза** и **мезопауза**.

Смесь газов, образующих атмосферу, называют **воздухом** (рис. 2.5).

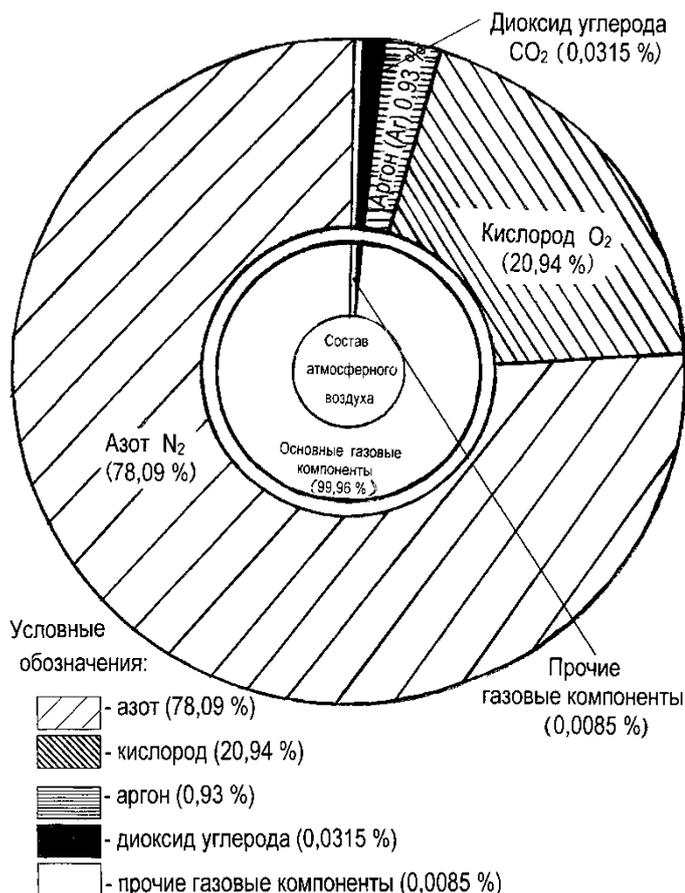


Рис. 2.5. Состав атмосферного воздуха

Воздух имеет решающее значение для жизни на Земле, но люди часто воспринимают его как дар свыше: о нем вспоминают только при сильном загрязнении, когда уже необходимо принимать меры по охране воздушного бассейна, решать вопросы по снижению вредных выбросов в атмосферу.

Очень малое число людей осознают, как много воздуха они вдыхают. Здоровый человек делает около 2000 вдохов и выдохов за 24 часа, пропуская через легкие примерно 15 кг воздуха. Для сравнения скажем, что человек потребляет за такое же время меньше 1,5 кг пищи и около 2 кг воды. Человек может прожить приблизительно 5 недель без пищи и 5 дней без воды, но только 5 минут – без воздуха.

Воздух является смесью многих газов (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Химический состав сухого атмосферного воздуха у земной поверхности

Газ	Объемная концентрация, %	Молекулярная масса
Азот	78,084	28,0134
Кислород	20,9476	31,9988
Аргон	0,934	39,948
Углекислый газ	0,0314	44,00995
Неон	0,001818	20,179
Гелий	0,000524	4,0026
Метан	0,0002	16,04303
Криптон	0,000114	83,80

Водород	0,00005	2,01594
Закись азота	0,00005	44,0128
Ксенон	0,0000087	131,30
Двуокись серы	от 0 до 0,0001 летом от 0 до 0,000007 зимой	64,0628 47,9982
Двуокись азота	от 0 до 0,000002	46,0055
Аммиак	следы	17,03061
Окись углерода	следы	28,01055
Йод	следы	253,8088

Некоторые газовые составляющие присутствуют в атмосфере в очень малых количествах, однако их важность определяется не этим. Например, содержание в атмосфере озона (O_3), каждая молекула которого состоит из трех атомов кислорода, доходит только до 0,001 %, однако без озона жизнь на земле была бы совсем иной, чем мы ее видим сейчас.

Средняя молекулярная масса сухого воздуха равна 28,9644.

2.2.2. Происхождение атмосферы

Вопрос о происхождении атмосферы неотделим от вопроса о происхождении самой Земли.

Современная земная атмосфера имеет, по-видимому, вторичное происхождение и образовалась из газов, выделенных твердой оболочкой Земли (литосферой) в процессе формирования планеты. В течение геологической истории Земли атмосфера претерпела значительную эволюцию под влиянием ряда факторов: диссипации (улетучивания) атмосферных газов в космическое пространство; выделения газов из литосферы в результате вулканической деятельности; диссоциации (расщепления) молекул под влиянием солнечного ультрафиолетового излучения; химических реакций между компонентами атмосферы и породами, слагающими земную кору; аккреции (захвата) межпланетной среды (например, метеорного вещества). Развитие атмосферы было тесно связано с геологическими и геохимическими процессами, а также с деятельностью живых организмов. Атмосферные газы, в свою очередь, оказывали большое влияние на эволюцию литосферы. Например, громадное количество углекислоты, поступившее в атмосферу из литосферы, было затем аккумулировано в карбонатных породах. Атмосферный кислород и поступающая из атмосферы вода явились важнейшими факторами, которые воздействовали на горные породы. На протяжении всей истории Земли атмосфера играла большую роль в процессе выветривания.

Деятельность живых организмов, оказывающая сильное влияние на развитие атмосферы, сама в очень большой степени зависит от атмосферных условий. Атмосфера задерживает большую часть ультрафиолетового излучения солнца, которое губительно действует на многие организмы. Атмосферный кислород используется в процессе дыхания животными и растениями, атмосферная углекислота – в процессе питания растений.

В науке широко распространена гипотеза, что планеты солнечной системы образовались путем охлаждения раскаленных газовых сгустков, оторвавшихся от Солнца. При охлаждении такого газового сгустка должно было происходить соединение разных химических элементов и образование составляющих земной шар веществ. Зная имеющееся теперь в наличии количество этих веществ, можно подсчитать первоначальное количество кислорода в сгустке, хоть и приближенно. Эти расчеты были произведены, и обнаружены несоответствия кислорода и азота на Солнце и на Земле: кислорода оказалось в несколько тысяч раз больше на Земле. Это расхождение отвергает гипотезу отделения Земли от Солнца.

Новейшая теория образования Солнечной системы разработана академиком О.Ю. Шмидтом, который считает, что земной шар, как и другие планеты, образовался из сгустков холодной космической пыли. Атмосфера же появилась после формирования планеты в результате постепенного ее разогревания при медленном накоплении тепла из-за распада радиоактивных элементов и в результате появления жизни и создания почвенного покрова.

Имеются и другие гипотезы о происхождении атмосферы.

2.2.3. Структура атмосферы

Многочисленные наблюдения показывают, что атмосфера имеет четко выраженную слоистую структуру (рис. 2.6). Вертикальный разрез атмосферы и ее строение показаны на рис. 2.7.

Основные черты слоистого строения атмосферы определяются, в первую очередь, особенностями вертикального распределения температуры. В структуре атмосферы различают ряд сфер, в том числе: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, ионосфера, экзосфера, между которыми имеются прослойки – тропопауза, стратопауза и мезопауза.

Тропосфера. Физические свойства тропосферы, в основном, определяются влиянием земной поверхности, которая является ее нижней границей. Наибольшей высоты (16 - 18 км) тропосфера достигает в экваториальной и тропической зонах. В высоких широтах Земли верхняя граница тропосферы лежит в среднем на уровне 8-10 км, в средних она ежедневно колеблется от 7-8 до 10-12 км. Эти колебания зависят от атмосферных процессов. Нередко в течение суток верхняя граница тропосферы над определенным пунктом опускается или поднимается на несколько километров, что связано, главным образом, с изменениями температуры воздуха.

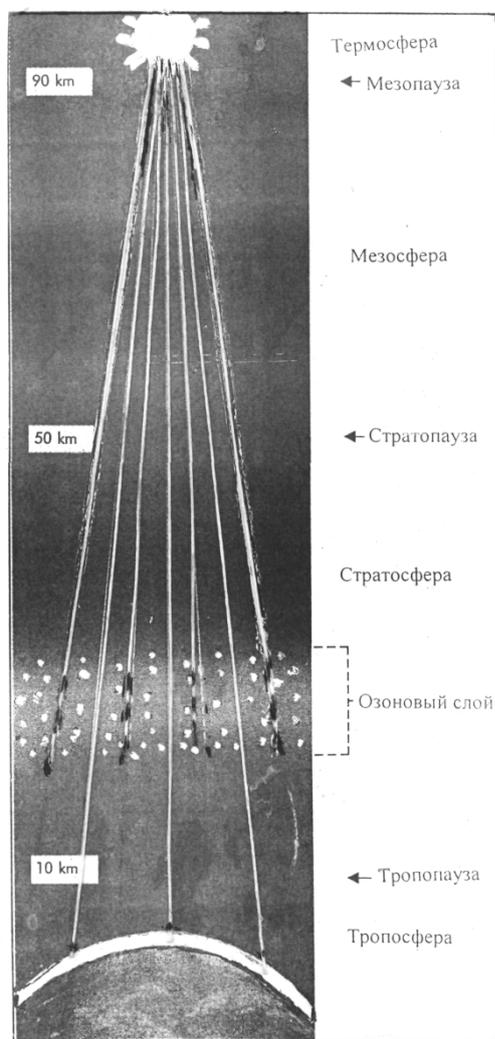


Рис. 2.6. Структура атмосферы

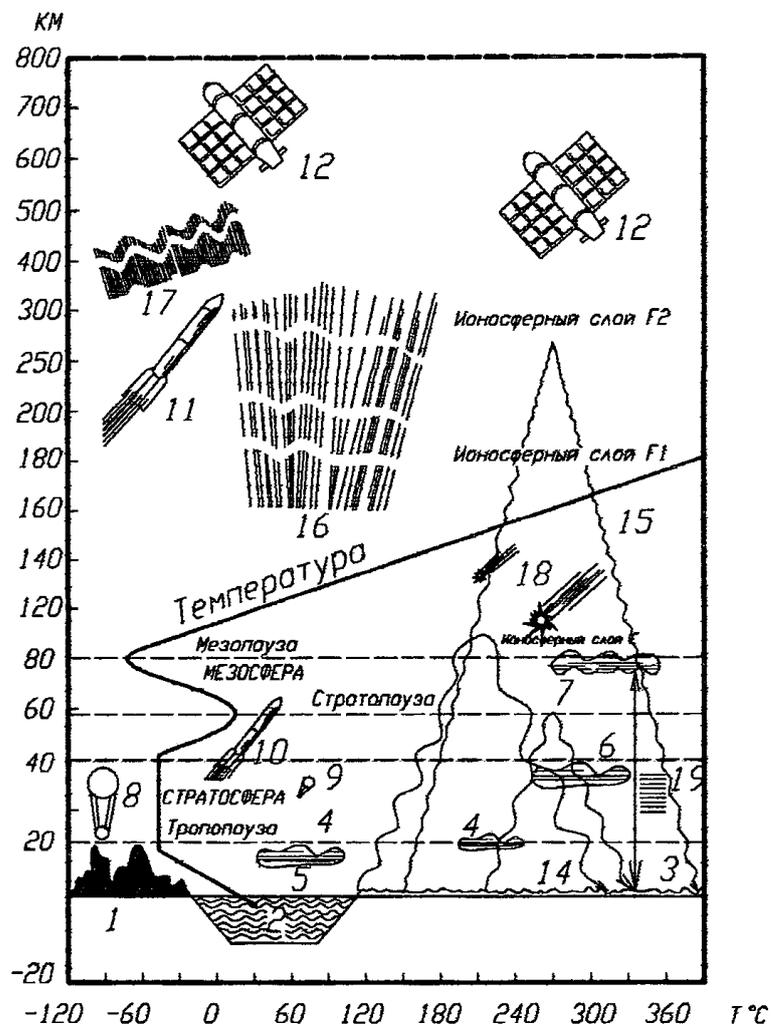


Рис. 2.7. Схема строения атмосферы на высоте до 250 км и вертикальный разрез атмосферы:

1 – горы; 2 – океан; 3 – облака; 4 – облака конвекции; 5 – облака перистые; 6 – облака перламутровые; 7 – облака серебристые; 8 – стратостат; 9 – радиозонд; 10 – метеорологические ракеты; 11 – геофизические ракеты; 12 – искусственные спутники Земли; 13 – отражение звуковых волн; 14 – отражение средних радиоволн; 15 – отражение коротких радиоволн; 16 – полярное сияние в нижней ионосфере; 17 – полярное сияние в верхней ионосфере; 18 – метеориты; 19 – слой наибольшей концентрации озона

В соответствии с притоком солнечной энергии температура воздуха понижается от экватора к полюсам. Так, средняя его температура у поверхности Земли на экваторе достигает $+26\text{ }^{\circ}\text{C}$, над полярными областями зимой $-34 - (-36)\text{ }^{\circ}\text{C}$, а летом – около $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, разность температур между экватором и полюсами зимой составляет $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, а летом – лишь $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. С высотой разность температур между экватором и полюсом уменьшается.

Энергию атмосферной циркуляции можно определить по контрастам температуры между экватором и полюсами. Так как зимой разность температур больше, чем летом, то и атмосферные процессы протекают интенсивнее. Этим же объясняется то, что преобладающие западные ветры зимой в тропосфере имеют большие скорости, чем летом. Скорость ветра, как правило, с высотой возрастает, достигая максимума у верхней границы тропосферы. Горизонтальный перенос сопровождается вертикальными перемещениями воздуха турбулентным движением. Вследствие подъема или опускания больших масс воздуха образуются или рассеиваются облака, возникают или прекращаются осадки.

В тропосфере сосредоточены более $4/5$ массы земной атмосферы и почти весь содержащийся в ней водяной пар. Кроме того, в этом слое наблюдается непрерывное понижение

температуры с высотой в среднем на 0,6 °С на каждые 100 м. Причина этого в том, что воздух в тропосфере нагревается и охлаждается преимущественно от поверхности Земли.

Выше сравнительно тонкого переходного слоя – тропопаузы – находится стратосфера.

Стратосфера – это слой атмосферы в пределах 16-50 км. Температура здесь, как правило, повышается в среднем на 1-2 °С на 1 км поднятия и у верхней границы становится положительной.

В создании режима температуры и воздушных течений в стратосфере большую роль играет озон (O₃), который находится на высоте 20-30 км. Он образуется под действием ультрафиолетовых лучей Солнца и, хотя общее количество его незначительно, имеет большое значение в протекающих в атмосфере процессах. Озон обладает способностью поглощать ультрафиолетовую радиацию Солнца и тем самым предохраняет животный и растительный мир от ее губительного воздействия.

Количество озона неодинаково над различными частями Земли (в высоких широтах его больше, в средних и низких – меньше) и зависит от смены времен года: весной озона больше, осенью – меньше. Кроме того, его количество также зависит от горизонтальной и вертикальной циркуляции атмосферы.

Зимой (в условиях полярной ночи) в высоких широтах как в тропосфере, так и в стратосфере, происходит охлаждение воздуха.

Летом (в условиях полярного дня) в высоких широтах в слое озона происходит поглощение солнечного тепла, и воздух нагревается сильнее, чем в средних широтах. В результате градиенты температуры и давления летом в стратосфере бывают направлены от высоких к средним широтам.

Мезосфера. Общее повышение температуры, наблюдающееся в стратосфере, заканчивается у ее верхней границы. Выше температура вновь понижается и на высоте 80 км достигает -75 – -90 °С. Затем вновь происходит повышение температуры с высотой.

На высоте 80 км, в слое мезопаузы, понижение температуры прекращается, и начинается ее повышение. Здесь под инверсионным слоем в сумерки или перед восходом Солнца при ясной погоде наблюдаются блестящие тонкие облака – серебристые.

Термосфера расположена выше мезосферы. Для нее характерно непрерывное повышение температуры с высотой. Данные, полученные с помощью ракет, свидетельствуют о том, что на уровне 150 км температура воздуха достигает +220 – +240, а на уровне 200 км – более 500 °С. Выше этого уровня температура продолжает повышаться и на высоте 500-600 км превышает 1500 °С; в течение суток она значительно колеблется.

В термосфере газы очень разрежены. В этой среде сравнительно немного молекул весьма малых размеров (легких газов), поэтому они движутся с большими скоростями. При столкновениях молекул возникает высокая температура в данном объеме воздуха. В термосфере в каждом кубическом сантиметре воздуха содержатся десятки и сотни тысяч молекул различных газов, в то время как у поверхности Земли их – около сотни миллионов миллиардов.

Экзосфера – самая верхняя часть атмосферы – расположена выше 800 км. Температура в экзосфере с высотой возрастает предположительно до +2000 °С. В отличие от нижней части атмосферы в экзосфере газы настолько разрежены, что частицы их, двигаясь с огромными скоростями, почти не встречаются друг с другом.

Для сравнительного анализа атмосферы в различных районах земного шара используется понятие **стандартной атмосферы** (рис. 2.8).

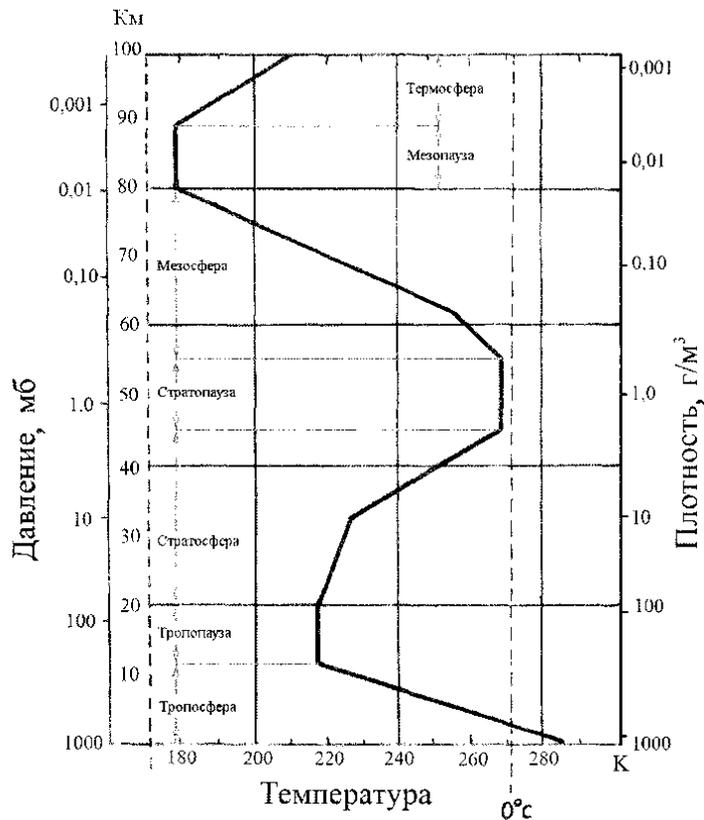


Рис. 2.8. Стандартная атмосфера

Основные параметры стандартной атмосферы:

Стандартное ускорение свободного падения g_c , м/с ² –	9,80665
Молярная масса воздуха M_c , кг/г·моль –	28,964420
Стандартное давление воздуха p_c , Па –	101325,0 (1013,25 мбар)
Универсальная газовая постоянная R^* , Дж/К·моль –	8314,32
Удельная газовая постоянная R , Дж/кг·К –	287,05287
Термодинамическая температура Кельвина для воздуха на среднем уровне моря T_c , К –	288,15
Термодинамическая температура Цельсия t_c , °С –	15
Стандартная плотность воздуха ρ_c , кг/м ³ –	1,2250
Скорость звука a_c , м/с –	340,294
Уравнение статики атмосферы –	$\Delta p = \rho g \Delta h$
Уравнение состояния идеального газа до высоты 94 км, где $M_c = \text{const}$; $R = \text{const} = R^* (M_c)$ –	$P = \rho RT$
Ускорение свободного падения на любой высоте h при условии радиуса Земли $r = 6\,356\,766$ м –	$g = g_c \left(\frac{r}{r+h} \right)^2$
Геопотенциальная высота H и геометрическая высота h , связанные соотношением –	$H = \frac{rh}{r+h}$
Влажность воздуха –	0

Примечание. Индекс «с» означает, что характеристика относится к стандартной атмосфере.

2.2.4. Свойства атмосферы

Современная атмосфера сформировалась в результате множества постепенных изменений и содержит примерно 78 % азота, 21 % кислорода и около 1 % большого числа других составных частей. Все слои имеют примерно одинаковый газовый состав. Среди всех слоев атмосферы наибольшее значение имеет тропосфера, так как в ней происходят основные погодные процессы.

Общая масса атмосферного воздуха равна $5,25 \cdot 10^{15}$ т. Она распределяется неравномерно: до 6 км сосредоточено около 50 % ее массы, до 29 км – 97 %; в пределах тропосферы находится от 75 (умеренные широты) до 90 % (тропики). Принимая во внимание, что площадь земной поверхности составляет 510 млн. км² и зная массу атмосферы, можно подсчитать, что плотность на уровне моря в среднем равна 1,3 кг/м³.

Свойства атмосферы в приземных слоях зависят также от степени ее загрязнения природными и антропогенными загрязнителями.

К природным загрязнителям относятся: космическая, вулканическая и почвенная пыль; дым лесных пожаров; морская соль; сероводород и аммиак, образующиеся при гниении органических веществ; метан при брожении углеводородных веществ. В атмосферном воздухе содержатся микроорганизмы, которые сорбируются на поверхности пылинок.

К антропогенным относятся выбросы, образующиеся при работе автомобильного транспорта, предприятий черной и цветной металлургии, горнорудной, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, сельского хозяйства и др. По своему составу и свойствам они отличаются большим разнообразием. Для автотранспорта характерными являются: оксиды углерода, диоксиды азота и серы, свинец, сажа, кадмий, асбестовая пыль, бенз(а)пирен и другие отравляющие вещества, входящие в состав отработавших газов.

Состояние атмосферы определяется рядом физических характеристик (параметров), основными из которых являются температура, влажность, давление, плотность воздуха.

Температура воздуха – степень нагретости или характеристика теплового состояния воздуха. Она пропорциональна энергии движения молекул воздуха, измеряется в градусах по шкале Цельсия или в кельвинах по абсолютной шкале.

Температура замерзания пресной воды или таяния льда принята за 0 °С (273,15 К), а температура кипения воды соответственно равна 100 °С (373,15 К). Соотношение различных шкал температур и их характеристика приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Практические и англо-американские температурные шкалы

Шкала Цельсия	Шкала Реомюра	Шкала Фаренгейта	Шкала Ренкина (термодинамическая)
0°С – точка таяния льда 100°С – точка кипения воды °С – 1/100 часть температурного интервала между этими точками по размеру °С = К Соотношение шкал $T = t + 273,15$ T – температура Кельвина t_c – температура Цельсия	0°R – точка таяния льда 80°R – точка кипения воды °R – 1/80 часть температурного интервала между этими точками $1^\circ R = 1,25^\circ C$ $t_r = 1,25^\circ C$ Соотношение $t = 1,25t_r$; $T = 1,25t_r + 273,15$	0°F – температура смеси льда с нашатырем 96°F – нормальная температура человеческого тела 32°F – точка таяния льда 212°F – точка кипения воды °F – 1/180 часть температурного интервала между точкой таяния льда и точкой кипения воды $1^\circ F = 5/9^\circ C$, $t_c = 5/9(t_F - 32)$ t_F – температура Фардея	Размер градуса Ренкина °Ra = °F, но отсчет ведется от абсолютного нуля По шкале Ренкина $0^\circ F = 459,67^\circ Ra$ Соотношения $t_c = 5/9 t_{Ra} - 273,15$; $T = 5/9 t_{Ra}$

Примечания:

1. 1 м – путь, проходимый в вакууме светом за $1/29972458$ доли секунды.

2. 1 с – 9192631770 периода излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния (атом цезия–133).

Для измерения температуры применяются различные термометры (рис. 2.9).

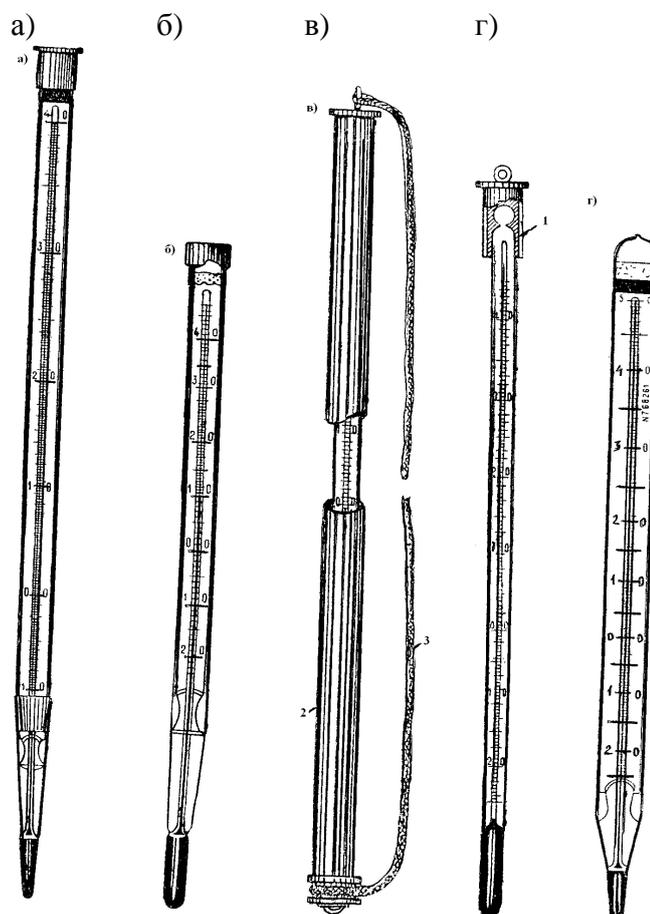


Рис. 2.9. Термометры: а – ртутный метеорологический к психрометру аспирационному (большая модель); б – ртутный метеорологический к психрометру аспирационному (малая модель); в – прац ртутный метеорологический (1) с футляром (2) и шнуром (3); г – ртутный метеорологический для определения температуры поверхности почвы

Термометры в зависимости от их особенностей подразделяются:

2. По принципу действия:

- 1) жидкостные (ртутные и спиртовые);
- 2) металлические (термометры сопротивления, биметаллические пластинки и спирали);
- 3) полупроводниковые (термисторы).

3. По назначению:

- 1) срочные;
- 2) максимальные;
- 3) минимальные.

Для непрерывной записи температуры воздуха используются суточные и недельные термографы (рис. 2.10).

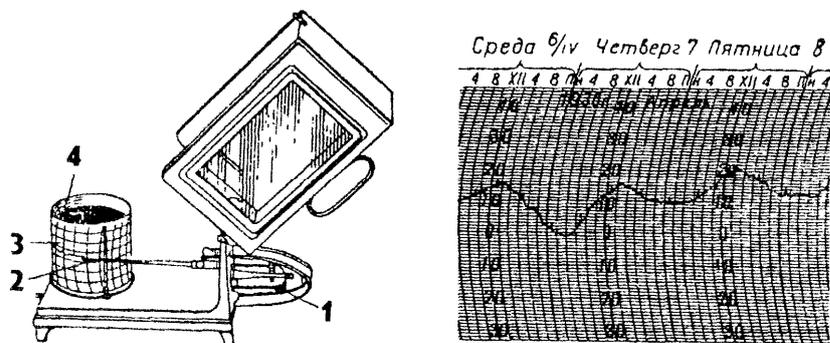


Рис. 2.10. Термограф с лентой для записи температуры:
1 – биметаллическая пластинка; 2 – стрелка; 3 – барабан;
4 – часовой механизм

На метеорологических площадках термометры и термографы устанавливаются в метеорологических будках на высоте 2 м от поверхности земли. Метеорологическая будка должна хорошо вентилироваться и защищать установленные в ней приборы от непосредственного воздействия солнечных лучей.

Для измерения температуры почвы используются почвенные коленчатые термометры (рис. 2.11).

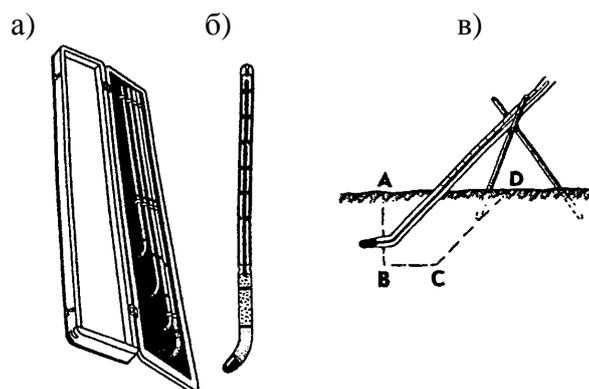


Рис. 2.11. Почвенные коленчатые термометры Савинова:
а – комплект термометров; б – отдельный термометр;
в – установка термометра в почве

Температура воздуха для практических целей измеряется с точностью 0,1 °С, а в метеорологических телеграммах и на картах погоды указывается в целых числах.

Температура воздуха – величина непостоянная, она изменяется периодически в течение суток и года и неперiodически в результате изменения метеорологической обстановки. Временные изменения температуры подразделяются на суточные, годовые и неперiodические. Пространственные изменения температуры зависят от географической широты и долготы места, от высоты над поверхностью Земли.

В приземном слое температура воздуха изменяется в течение суток. Минимальная температура наблюдается обычно в момент восхода Солнца: в июле – около 3 ч, в январе – около 7 ч по местному среднему солнечному времени. Максимальная температура бывает в 14-15 ч.

Амплитуда колебаний температуры может меняться от нескольких до десятков градусов. Она зависит от времени года, широты места, высоты его над уровнем моря, рельефа, характера подстилающей поверхности, наличия облачности и развития турбулентности в атмосфере. Наибольшая амплитуда бывает в низких широтах, в котловинах с песчаной или каменистой почвой, в безоблачные дни. Над морями и океанами суточный ход температуры незначителен.

В течение года максимальная температура воздуха в приземном слое над континентами наблюдается в середине лета, над океанами – в конце, минимальная температура – в середине или конце зимы.

Амплитуда годового хода воздуха зависит от широты места, близости моря и высоты над уровнем моря. Наименьшая амплитуда наблюдается в экваториальной зоне, так как в ней приток тепла в течение года изменяется незначительно. Резкие различия в годовой амплитуде температуры наблюдаются между пунктами, расположенными в глубине континента на океанических островах.

Кроме того, в природе могут наблюдаться и непериодические изменения температуры – от дня ко дню независимо от времени суток. Они связаны с изменением метеорологической обстановки (прохождением циклонов и антициклонов, атмосферных фронтов, вторжением теплой или холодной воздушной массы).

Поскольку нижняя часть атмосферы нагревается, главным образом, от земной поверхности, в тропосфере температура воздуха с высотой, как правило, понижается. Понижение в среднем составляет $0,5 - 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ на каждые 100 м подъема (рис. 2.12).

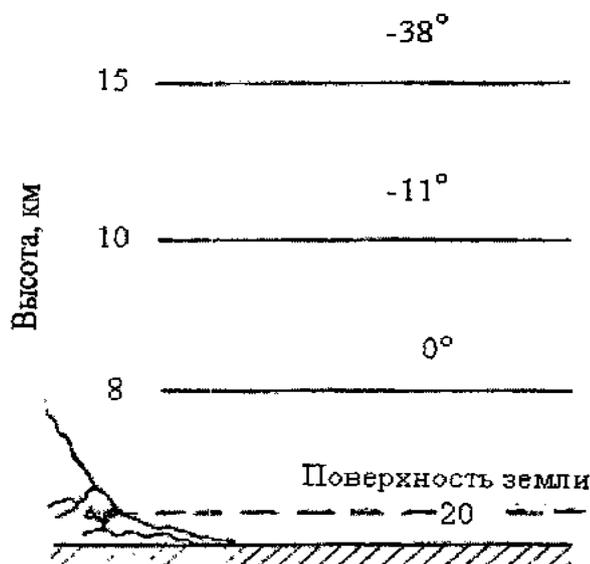


Рис. 2.12. Вертикальные градиенты температуры

Для количественной оценки пространственного изменения того или иного метеорологического элемента (например, температуры, давления, ветра) используется понятие **градиент** – изменение величины метеорологического элемента на единицу расстояния. В метеорологии принято считать градиент положительным, если его значение с расстоянием уменьшается.

Для количественной оценки пространственных изменений температуры используют вертикальный и горизонтальный градиенты температуры.

Вертикальный градиент температуры v – изменение температуры на 100 м высоты. При понижении температуры $v > 0$, повышении $v < 0$, а если температура воздуха с высотой не изменяется, $v = 0$.

Горизонтальный градиент температуры – изменение температуры на 1 км расстояния.

Слои атмосферы, в которых наблюдается рост температуры с высотой ($v < 0$), называются **слоями инверсии**. Слои атмосферы, в которых температура с высотой не изменяется, называются **слоями изотермии** ($v = 0$). Линия, описывающая изменение температуры с высотой, называется **кривой стратификации**. На горизонтальной плоскости линии равных значений температур называются **изотермами**.

Для наглядного представления о распределении температуры в горизонтальной плоскости (на поверхности Земли или каком-либо уровне) значения температуры в пунктах наблюдения наносятся на географическую карту. При анализе карт проводят изотермы. В результате получается карта поля температуры, или карта изотерм.

Атмосферное давление – это сила, действующая на единицу горизонтальной поверхности 1 см^2 , вызываемая весом простирающегося вверх через всю атмосферу столба воздуха. Чем больше высота этого столба и чем плотнее воздух в нем, тем больше атмосферное давление. Следовательно, значение атмосферного давления уменьшается с высотой и равно нулю на верхней границе атмосферы. Распределение атмосферного давления в приземном слое изображено на рис. 2.13.

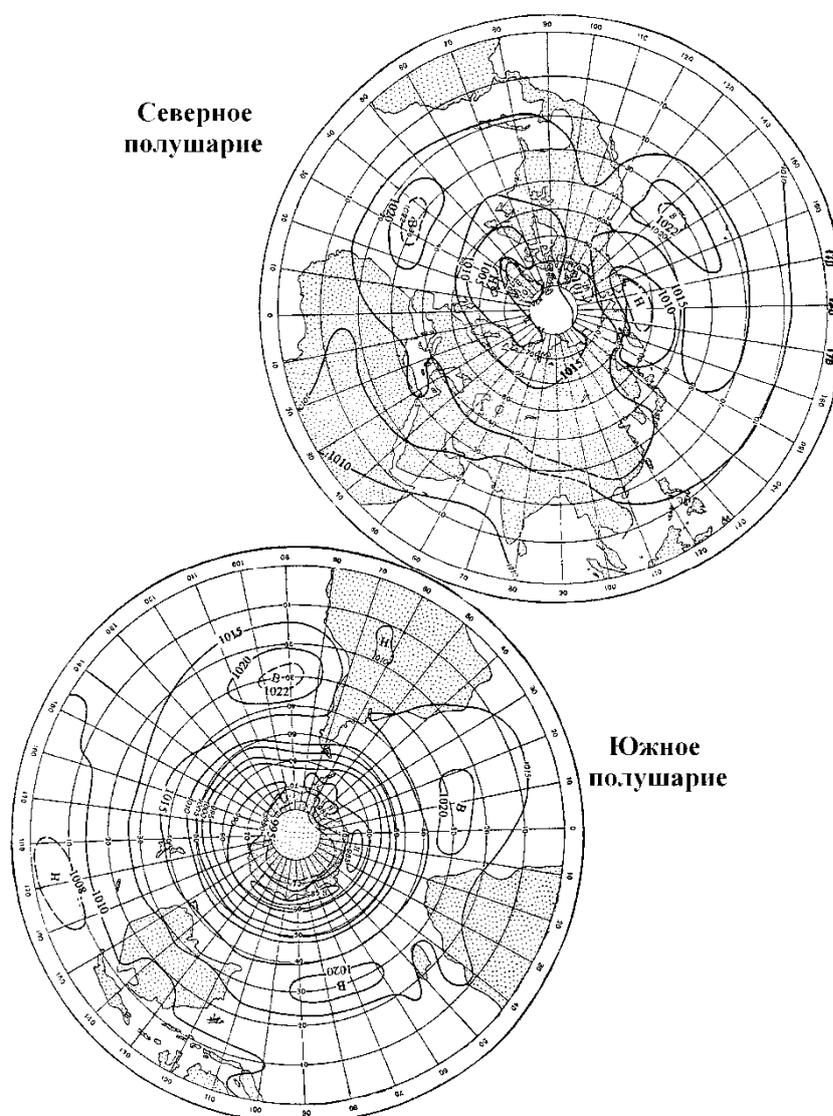


Рис. 2.13. Карта распределения среднегодовых значений давления в приземном слое атмосферы

Атмосферное давление измеряют высотой столба ртути, уравнивающего вес столба воздуха в приборе, называемом **барометром**. Различают барометры чашечные, сифонные и сифонно-чашечные (рис. 2.14). Принципиальная схема работы чашечного барометра приведена на рис. 2.15. Стационарный чашечный барометр изображен на рис. 2.16, барометр-анероид – на рис. 2.17. Высота столба ртути в барометре измеряется в миллиметрах, следовательно, единицей измерения атмосферного давления служит миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.), причем $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па (Паскаля)} = 1,333 \text{ мбар (миллибара)}$.

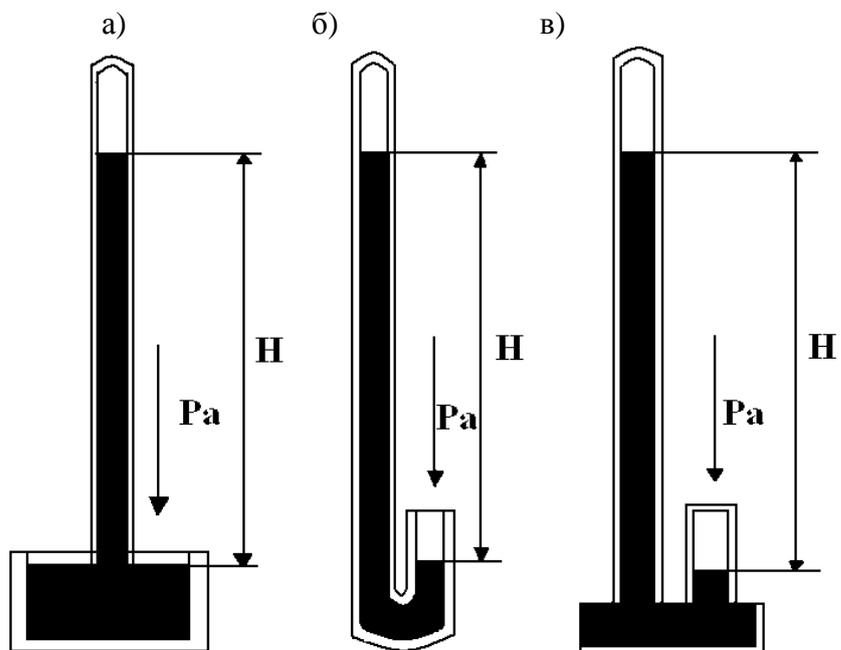


Рис. 2.14. Барометры:
 а – чашечный; б – сифонный; в – сифонно-чашечный

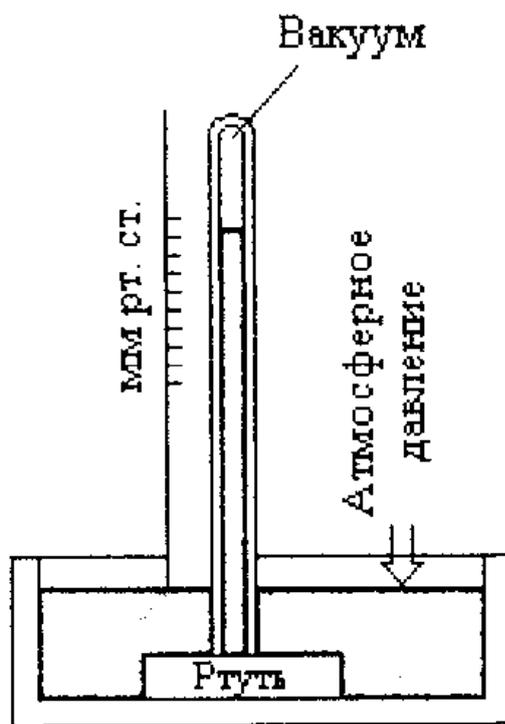


Рис. 2.15. Принцип работы чашечного барометра

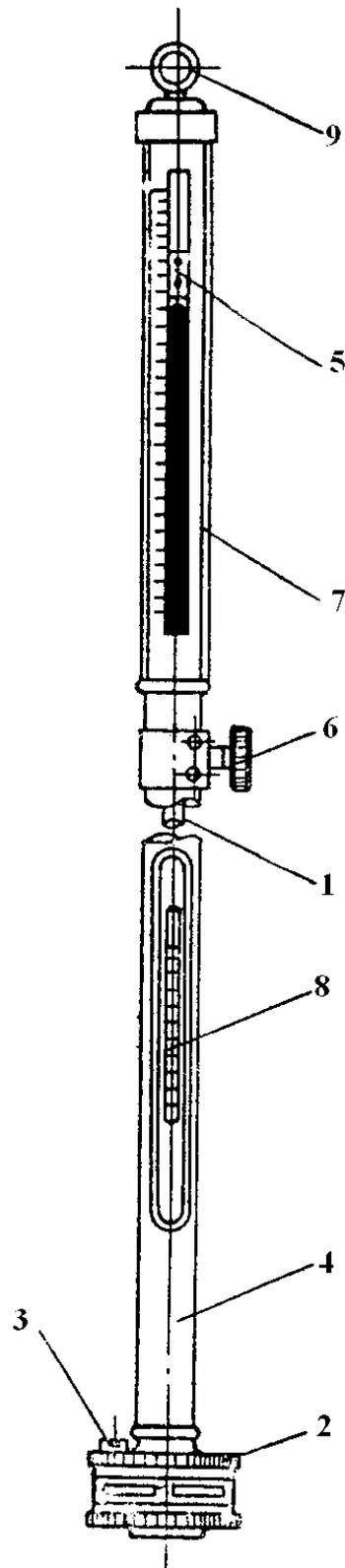


Рис. 2.16. Стационарный чашечный барометр:

1 – стеклянная калиброванная трубка; 2 – чашка; 3 – отверстие винта для передачи атмосферного давления; 4 – металлическая оправа; 5 – нониус; 6 – кремальер; 7 – стеклянный кожух; 8 – термометр; 9 – кольцо для подвешивания прибора

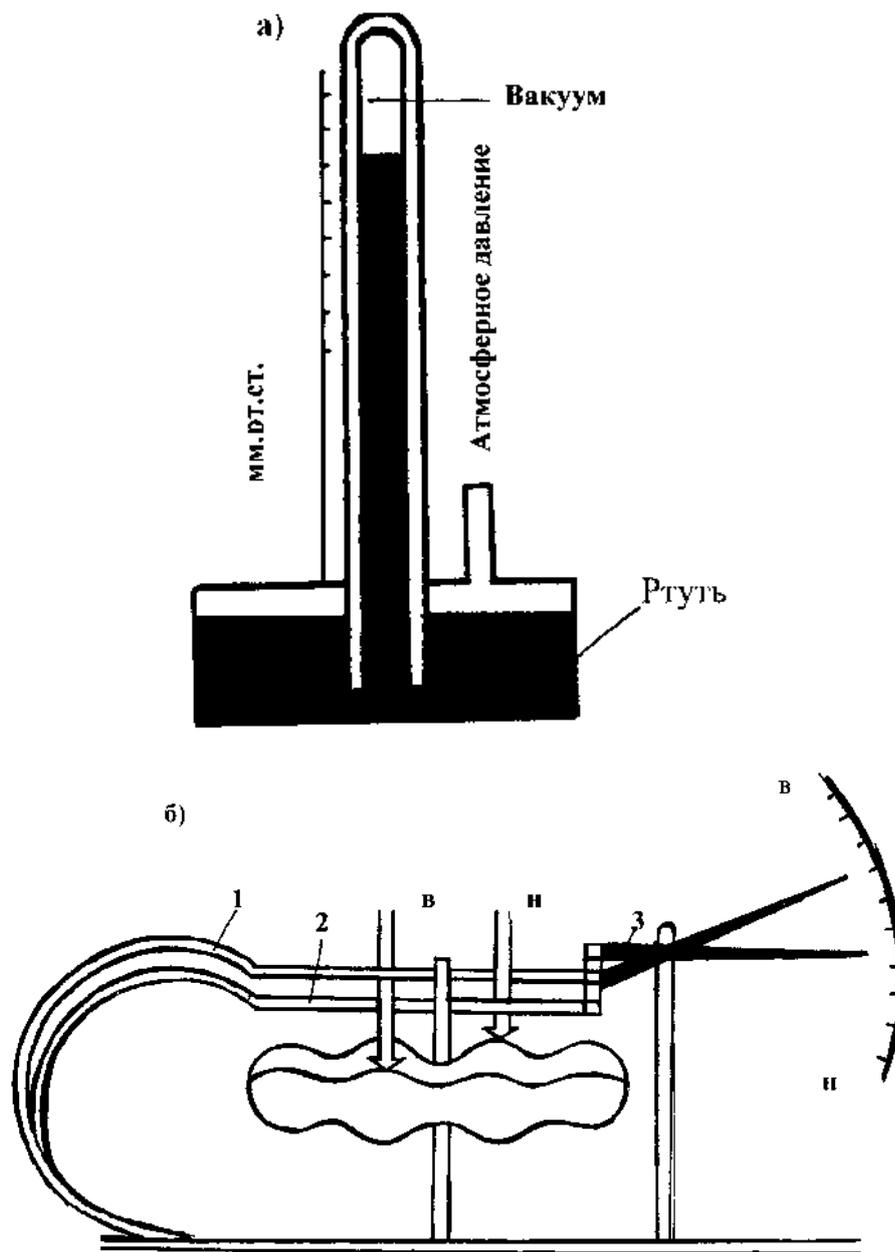


Рис. 2.17. Схема работы ртутного барометра (а); барометра-анероида (б):
 1 – биметаллическая пластина; 2 – анероидная коробка; 3- указательная стрелка

Кроме ртутного барометра атмосферное давление может измеряться барометром-анероидом, шкала которого градуируется в тех же единицах по ртутному барометру-эталону. Для непрерывной записи атмосферного давления используются барографы-самописцы (рис. 2.18).

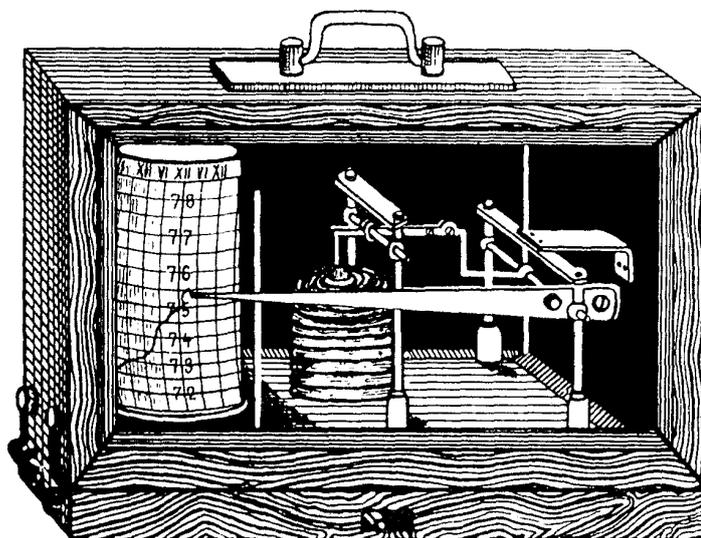


Рис. 2.18. Барограф-самописец атмосферного давления

Атмосферное давление изменяется с высотой по логарифмическому закону: в нижних слоях атмосферы оно уменьшается быстрее, чем в верхних. Высота, в пределах которой атмосферное давление изменяется на одну единицу (мм рт. ст. или мбар), называется *барической ступенью*.

В нижних слоях воздуха вблизи уровня моря изменение атмосферного давления на 1 мм рт. ст. происходит при изменении высоты на 10 - 11 м, а в стратосфере – при изменении высоты на несколько десятков и даже на целые сотни метров.

Величина барической ступени, а следовательно, и скорость изменения атмосферного давления с высотой, будет различной не только на разных высотах, но и в зависимости от того, в каком воздухе мы ее определяем: в теплом или в холодном.

Величина барической ступени рассчитывается по формуле

$$h = \frac{8000}{p_{\text{ср}}} \left(1 + \frac{t}{273} \right),$$

где $p_{\text{ср}}$ и t – средние давление и температура, соответствующие уровню, на котором определяется барическая ступень.

Формулу для расчета величины барической ступени можно получить из уравнения статики

$$\Delta p = -g\rho\Delta H,$$

где Δp – изменение давления с высотой;

g – ускорение свободного падения;

ρ – массовая плотность воздуха;

ΔH – изменение высоты.

Это уравнение вытекает из природы атмосферного давления как силы, обусловленной весом столба воздуха с основанием, равным 1 см².

Величина барической ступени позволяет привести величины давления относительно уровня моря. На приземных синоптических картах атмосферное давление всегда приводится относительно уровня моря. Этим исключается необходимость учета влияния высоты местности на величину давления.

При барометрическом нивелировании учитывается давление воздуха в разных точках. При этом используется формула:

$$h = K(1 + \alpha t_m)(\lg B_1 - \lg B_2),$$

где $K = 18,470$ – эмпирический коэффициент;

$\alpha = 1/273$ – коэффициент температурного расширения воздуха;
 $t_m = (t_1 + t_2)/2$ – среднее значение температур воздуха в точках 1 и 2;
 B_1, B_2 – атмосферное давление в точках местности 1 и 2.

Распределение среднемесячного атмосферного давления и ветра в приземном слое показано на рис. 2.19.

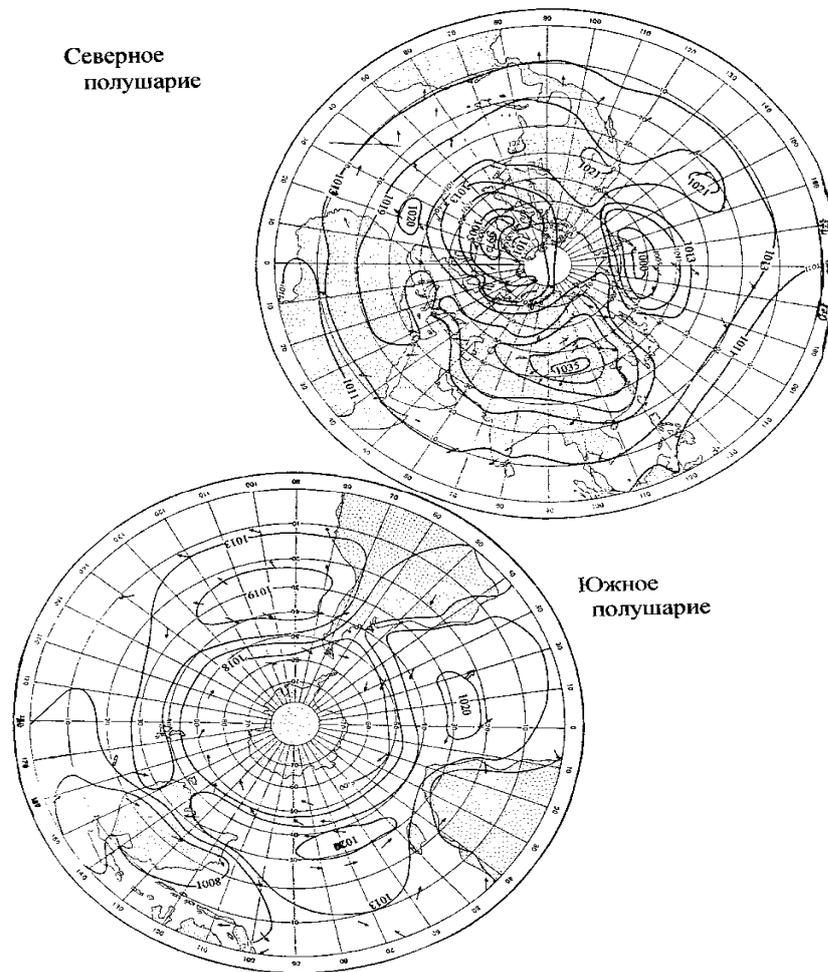


Рис. 2.19. Карта распределения среднемесячного многолетнего значения давления и ветра в приземном слое атмосферы (январь)

Карты январских и июльских изобар представлены на рис. 2.20, 2.21.

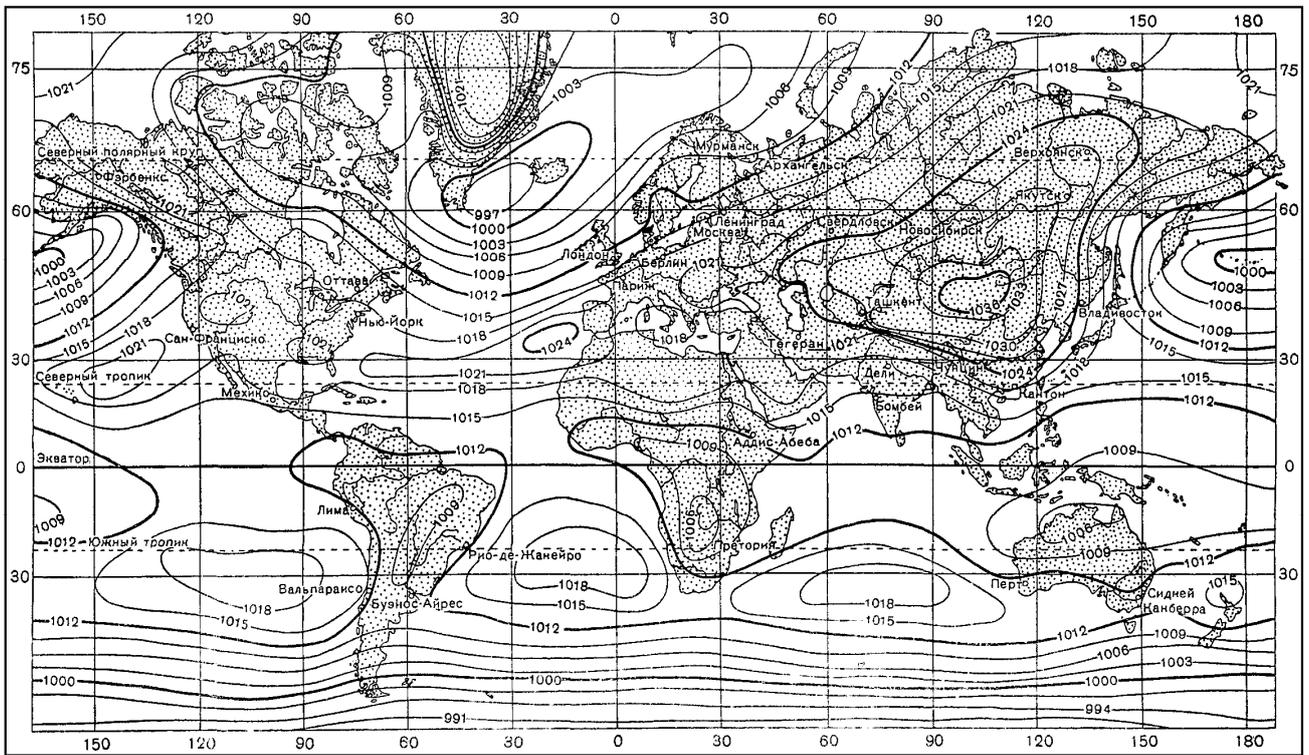


Рис. 2.20. Карта январских изобар

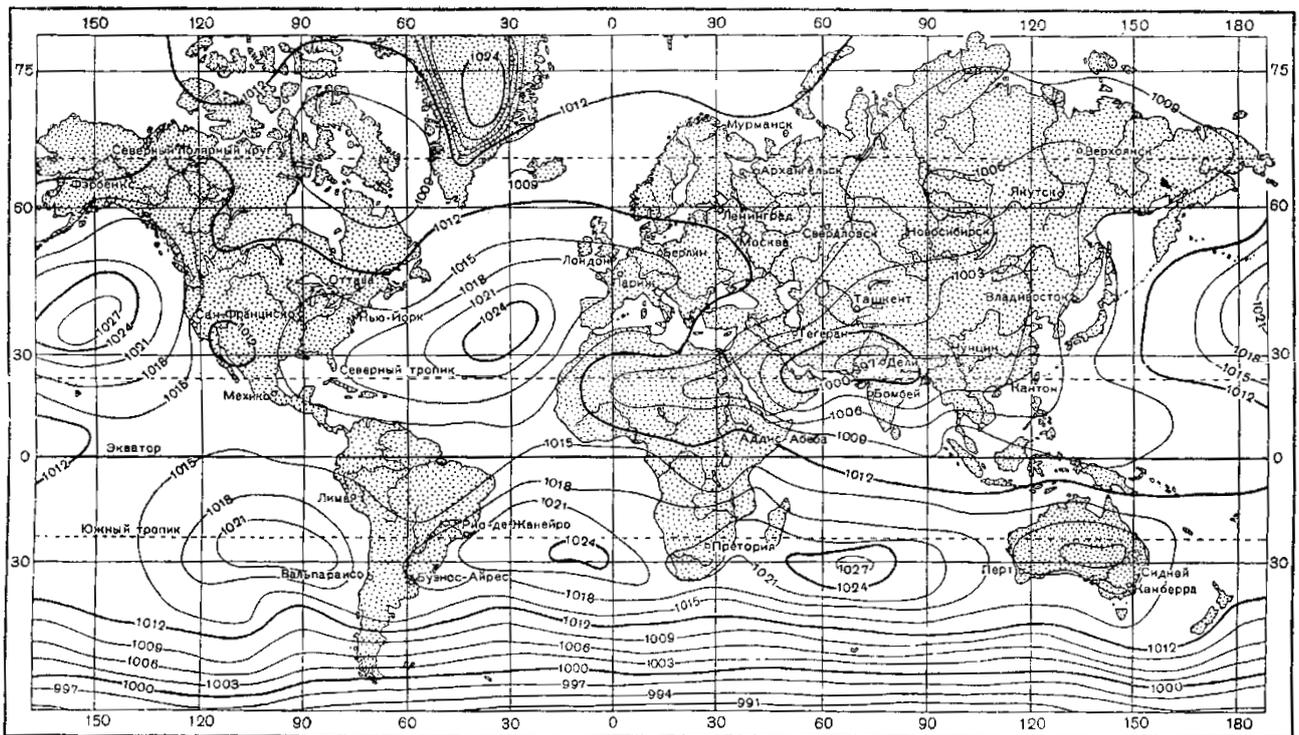


Рис. 2.21. Карта июльских изобар

В атмосферном воздухе всегда находится водяной пар, содержание которого в воздухе называется его *влажностью*. Влажность воздуха связана не только с содержанием в нем водяного пара, но и с его температурой. Различают *действительную влажность воздуха* на данный момент времени и *максимально возможную при данной температуре*, когда будет достигнуто *состояние насыщения*: станет невозможным дальнейшее увеличение в воздухе

концентрации водяного пара, поскольку процессы испарения и конденсации его будут взаимно компенсировать друг друга.

Влажность воздуха характеризуется рядом величин.

Для оценки влажности воздуха используются такие понятия, как упругость водяного пара, удельная, абсолютная и относительная влажность, точка росы и дефицит точки росы.

Упругость водяного пара – это часть атмосферного давления, создаваемая водяным паром, который, как и всякий газ, обладает некоторой упругостью, выражаемой в миллибарах или миллиметрах ртутного столба. Различают *фактическую упругость водяного пара e* и *максимально возможную при данной температуре E* .

Удельная влажность – это количество водяного пара в граммах, содержащееся в одном килограмме воздуха. Удельная влажность воздуха остается неизменной при любых процессах (нагревании, охлаждении, расширении, уменьшении объема), если не происходит конденсации или дополнительного испарения.

Абсолютная влажность – это количество водяного пара в граммах, содержащееся в одном кубическом метре воздуха.

Относительная влажность – это процентное отношение количества водяного пара, фактически содержащегося в воздухе, к максимально возможному его количеству при данной температуре (количеству, которое необходимо для достижения насыщения):

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100$$

Относительная влажность указывает, насколько сух воздух в данный момент при данном значении его температуры, т.е. насколько он близок или далек от состояния насыщения. При изменении температуры изменяется и относительная влажность воздуха.

При любой относительной влажности воздух можно довести до состояния насыщения, если мы будем его охлаждать до тех пор, пока не начнется конденсация водяного пара.

Температура воздуха, при которой достигается насыщение воздуха водяным паром при неизменном атмосферном давлении, называется **точкой росы**. Точка росы обозначается t_d или T_d . Разность между фактической температурой воздуха и точкой росы называют **дефицитом точки росы** $t - t_d$. Чем больше дефицит точки росы, тем суше воздух (меньше его относительная влажность); при $t - t_d = 0$ относительная влажность равна 100 %.

На метеорологических станциях в первую очередь определяются парциальное давление e , относительная влажность воздуха f , точка росы t_d и дефицит влажности d .

Измерение влажности в приземном воздухе производят *психрометрическим методом* – с помощью показаний двух термометров: одного – обычного с сухим резервуаром ртути и другого – с резервуаром ртути, смоченным водой (рис. 2.22). Испарение воды охлаждает резервуар термометра. Влажность воздуха определяется при разности показаний сухого и смоченного термометров по психрометрическим таблицам.

Приборы с двумя термометрами для измерения влажности воздуха называются **психрометрами**. Они бывают стационарными, размещаемыми в специальной метеорологической будке, и переносными – с вентиляционным устройством и защитой от солнечных лучей (рис. 2.23). Працевой психрометр представлен на рис. 2.24.

Относительная влажность измеряется **гигрометром** – волосным (рис. 2.25) или пленочным (рис. 2.26), датчиком в котором служит влаговосприимчивая пленка или обезжиренный волос, натяжение которого, изменяющееся в зависимости от влажности воздуха, передается стрелке со шкалой, градуированной в процентах относительной влажности.

Прибор-самописец, позволяющий записывать показания гигрометра на бумажной ленте, называется **гигрографом**. Общий вид гигрографа представлен на рис. 2.27, а принципиальная схема его работы – на рис. 2.28.

Основным методом измерения влажности воздуха можно считать психрометрический с использованием стационарных и аспирационных психрометров, основанный на законе Дельтона, который устанавливает следующую зависимость количества воды V , испаряющейся с

поверхности S , от дефицита влажности $E - e$ при температуре этой поверхности t' и атмосферного давления p :

$$V = \frac{cS(E - e)}{p},$$

где c – коэффициент пропорциональности, который зависит от скорости движения воздуха относительно испаряющей поверхности;

E – максимальная упругость водяного пара при температуре испаряющей поверхности;

e – фактическая упругость водяного пара в воздухе.

Расход тепла Q_1 на выпаривание массы воды V равен

$$Q_1 = \frac{cSL(E - e)}{p},$$

где L – теплота фазового перехода воды.

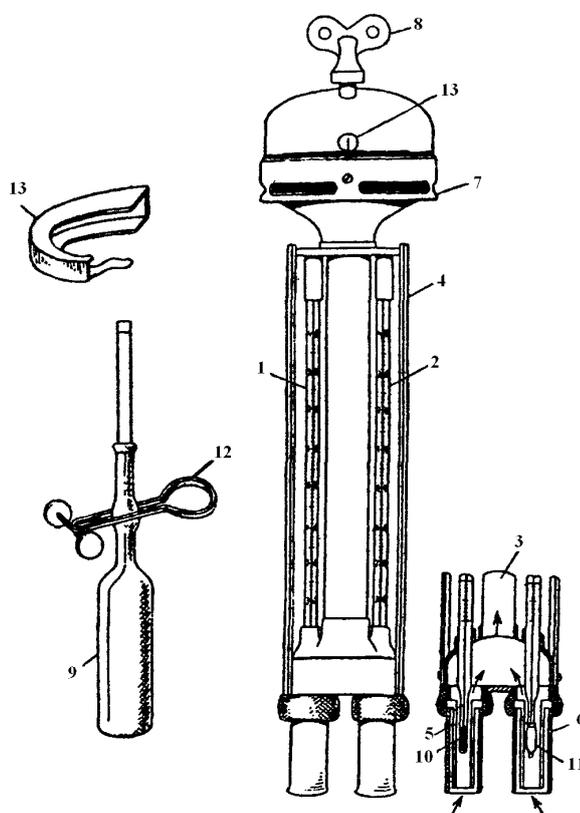


Рис. 2.22. Аспирационный психрометр:

1, 2 – термометры; 3 – трубка; 4 – защитные планки; 5, 6 – трубки; 7 – аспиратор;
8 – заводной ключ; 9 – грушеподобная пипетка; 10, 11 – резервуары термометров;
12 – зажим; 13 – приспособление для защиты от сильного ветра

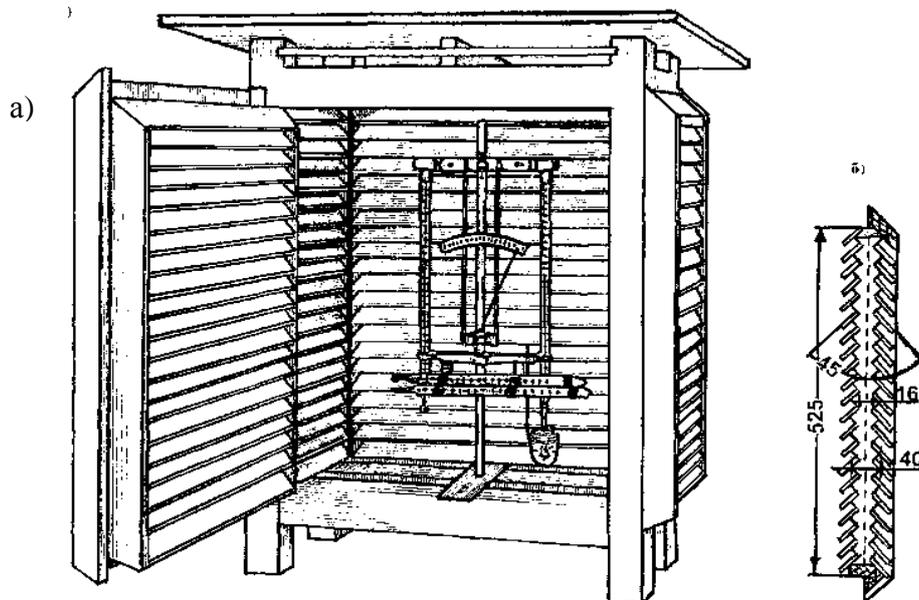


Рис. 2.23. Психрометрическая жалюзийная будка (а);
жалюзи психрометрической будки (б)

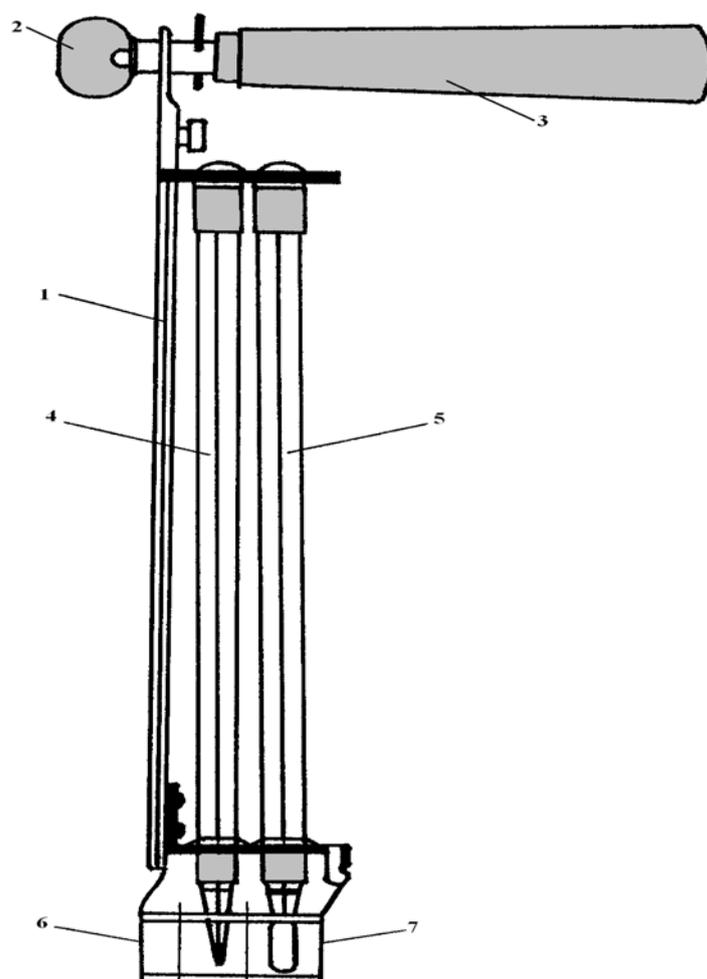


Рис. 2.24. Працевой психрометр:
1 – металлическая рамка вращения; 2 – ось; 3 – ручка; 4, 5 – психрометрические
термометры (5-й из них повязан батистом); 6, 7 – специальные защитные экраны
от солнечной радиации

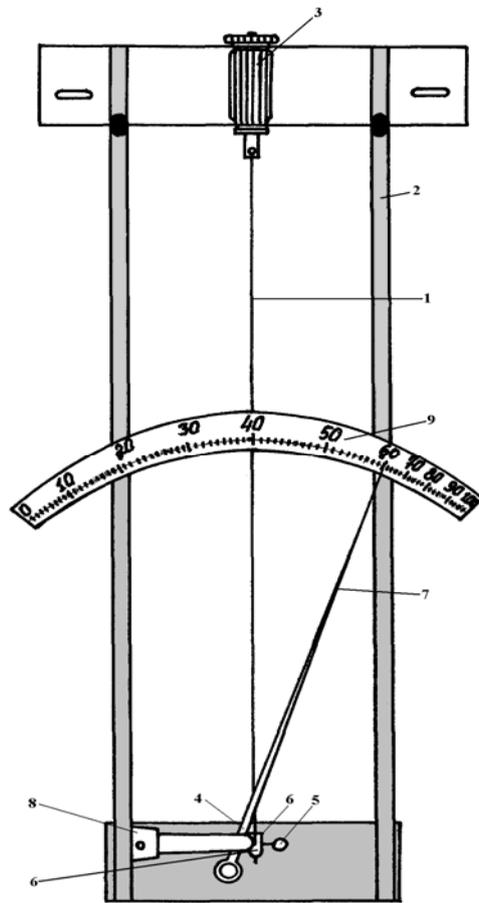


Рис. 2.25. Волосяной гигрометр:

1 – человеческий обезжиренный волос; 2 – металлическая рамка; 3 – регулировочный винт; 4 – кулачок; 5 – шпиль; 6 – уравнивающий груз; 7 – стрелка; 8 – опора механизма; 9 – шкала

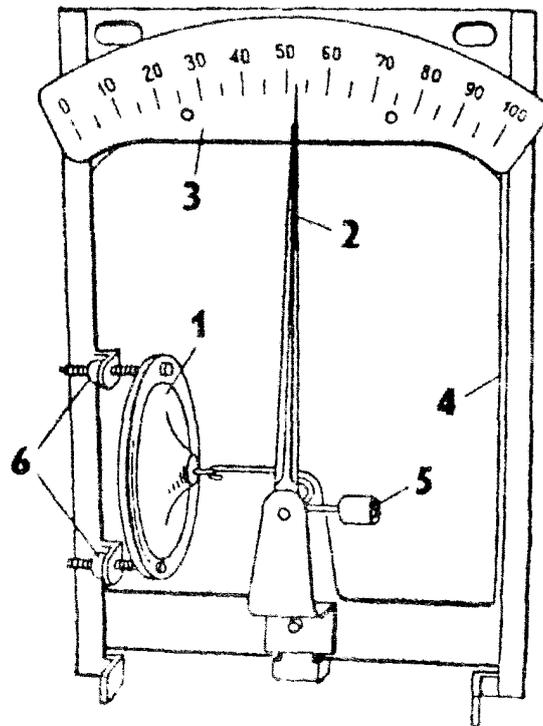


Рис. 2.26. Пленочный гигрометр:

1 – чувствительный элемент влажности; 2 – стрелка; 3 – шкала; 4 – металлическая рамка; 5 – груз-противовес; 6 – регулировочные винты.

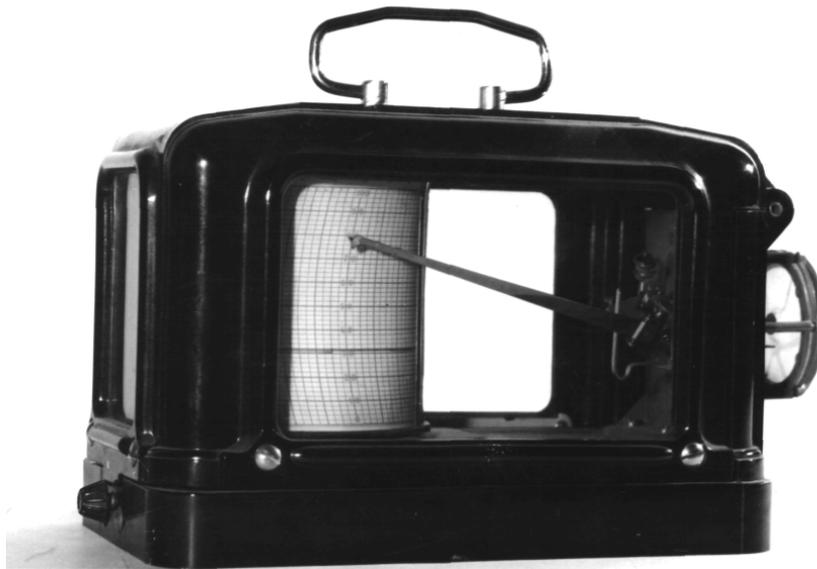


Рис. 2.27. Общий вид гигрографа

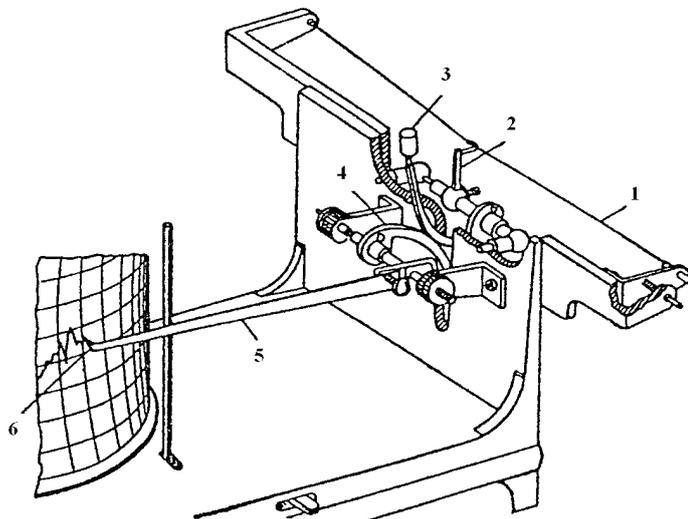


Рис. 2.28. Принципиальная схема работы гигрографа:

1 – обезжиренный человеческий волос; 2 – крючок; 3, 4 – криволинейные рычаги;
5 – стрелка; 6 – перо; 7 – регулировочный винт

Плотность воздуха ρ – это отношение массы воздуха к его объему; измеряется в граммах на кубический метр. Непосредственно плотность воздуха не измеряется, а вычисляется с использованием уравнения состояния газа.

Плотность воздуха тем больше, чем больше атмосферное давление и чем ниже температура воздуха. В целом плотность воздуха с высотой уменьшается, так как атмосферное давление с высотой падает значительно быстрее, чем понижается температура воздуха. В стандартной атмосфере плотность воздуха на уровне моря равна $1,225 \text{ кг/м}^3$. Для нижеперечисленных высот она составляет: 5 км – 0,736; 10 км – 0,414; 15 км – 0,195; 20 км – 0,089; 25 км – 0,04; 50 км – 0,001.

Плотность воздуха зависит как от атмосферного давления и температуры, так и от влажности. Водяной пар легче сухого воздуха, поэтому, чем больше в воздухе водяного пара, тем меньше будет плотность воздуха. Однако плотность в холодном воздухе из-за содержания в нем водяного пара может уменьшаться лишь незначительно (меньше чем на 1 %). Практически учитывать влияние влажности на плотность воздуха приходится лишь в очень теплом воздухе с температурой выше $+25 \text{ }^\circ\text{C}$. (Уменьшение плотности воздуха из-за содержания в нем водяного

пара при температуре +30 °С равносильно повышению температуры воздуха на 5 °С, а при температуре 40 °С – почти на 9 °С.)

Для вычисления плотности влажного воздуха пользуются формулой

$$\rho_{\text{вл}} = \rho_{\text{сух}} \left(1 - 0,378 \frac{e}{p}\right),$$

где $\rho_{\text{вл}}$ – плотность влажного воздуха;

$\rho_{\text{сух}}$ – плотность сухого воздуха;

e – упругость водяного пара;

p – атмосферное давление.

Таким образом, свойства земной атмосферы в различных точках варьируются в значительных пределах. Разные участки Земли нагреваются неодинаково. Между ними возникают перепады атмосферного давления, которые заставляют воздух перемещаться из одного района в другой и тем самым служат причиной возникновения ветра, шквалов и в конечном счете в сочетании с кориолисовой и центробежной силами – всей циркуляции атмосферы на нашей планете.

2.3. Озоновый слой и особенности его формирования

Озоновый слой имеет большое значение для жизнедеятельности на Земле. В атмосфере он образуется при повышенной концентрации озона на высоте 20-25 км. Озон – газ синего цвета с характерным запахом свежести и температурой кипения –112 °С – при больших концентрациях разлагается со взрывом, образуя озониды.

При нормальных условиях 1 литр озона весит 2,1445 г. Растворяется в эфирных маслах, скипидаре. Его растворимость в воде – 0,394 г/л (при 0 °С), то есть в 15 раз больше, чем у кислорода. Озон – один из сильнейших окислителей. Он окисляет все металлы, кроме золота и платины, а также большинство неметаллов, переводит низшие оксиды в высшие, а сульфиты металлов – в их сульфаты. В большинстве этих реакций молекулы озона теряют один атом кислорода, переходя в молекулы O₂. Озон выделяет йод из йодистого калия, окисляет ртуть, переводит сернистые металлы в сернокислые соли и т.д. При его взаимодействии с металлами образуются перекиси, с безводными гидроокисями щелочных металлов – триоксиды (NaO₃, KO₃ и т.д.). Органические вещества легко окисляются озоном или при наличии кратных связей присоединяют его с образованием озонидов. Для определения озона в воздухе применяются различные индикаторные бумажки (окрашивающиеся в присутствии озона в специфические цвета) и методы флуоресцентного анализа определенного объема воздуха через раствор йодистого калия с последующим титрованием выделившегося йода тиосульфатом натрия.

Предельно допустимое содержание озона в воздухе жилых и рабочих помещений 0,001 м³/л кратковременно переносится людьми без вреда. Вдыхание воздуха при концентрации в нем 0,018 м³/л озона вызывает резкое раздражение дыхательных органов и может привести к смертельной пневмонии. Озон образуется при пропускании слабого электрического разряда через воздух или кислород (этим объясняется свежий запах после грозы), при медленном окислении влажного белого фосфора, действии серной кислоты на перекиси, облучении кислорода ультрафиолетовыми лучами и т.п. Основным методом получения озона в технике является пропускание воздуха или кислорода через озонирующие аппараты разнообразных конструкций.

Образование озона из кислорода можно представить в следующем виде:



из которого следует, что стандартная энтальпия образования этого газа положительна и равна 142,5 кДж/моль. Приборы, служащие для получения озона, называются *озонаторами*. В атмосфере он образуется под воздействием солнечной радиации.

Наибольшее применение озон получил в виде озонированного кислорода или воздуха. В химической промышленности он используется довольно ограниченно из-за его высокой стоимости.

Малая устойчивость озона в жидком состоянии препятствует его широкому применению.

В атмосфере озон содержится в весьма малых количествах, тем не менее, имеет большое значение для жизни на Земле и играет значительную роль в термическом режиме различных слоев атмосферы. Хотя он содержится во всей толще нижней атмосферы, основное его количество находится в слое от 10 до 50 м над уровнем моря. Этот озоновый слой играет для планеты огромную роль из-за различных процессов, обеспечивающих поглощение в нем солнечного излучения.

Озон поглощает радиацию различных длин волн. Наиболее интенсивно поглощение в ультрафиолетовой и инфракрасной части солнечного спектра.

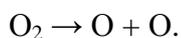
Солнечные лучи с длиной волн, меньшей 3000 Å, почти полностью поглощаются атмосферным озоном, в результате чего появляется резкий обрыв в ультрафиолетовой части солнечного спектра, наблюдаемый у поверхности земли.

В то же время значительная доля (до 20 %) длинноволнового земного излучения также поглощается озоном в атмосфере. Это позволяет широко применять для определения содержания озона в атмосфере *оптические методы*, основанные на учете поглощательной способности озона. С помощью спектрофотометров и других высокочувствительных приборов определяют интенсивности спектра в полосах поглощения озона для разной длины пути лучей в атмосфере и, сравнивая эти интенсивности, рассчитывают количество озона в некотором слое или во всей атмосфере. Из других методов определения содержания озона наиболее надежным является *флуоресцентный метод*, разработанный физиком М. Константиновой-Шлезингер. Обычные методы химического анализа проб воздуха малопригодны из-за малой концентрации озона в атмосфере.

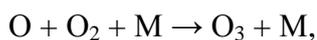
Общее количество озона в атмосфере принято характеризовать толщиной слоя, который составит озон, если его привести к так называемым *нормальным условиям* (н.у.): давление – 760 мм, температура – 0°C). Толщина такого слоя озона в среднем составит лишь 3 мм. Основная особенность распределения озона в атмосфере состоит в том, что в нижних слоях количество его весьма мало, но с возрастанием высоты он достигает максимальной концентрации в стратосфере на высоте 20-25 км. Вблизи этой высоты максимальной концентрации сосредоточена основная масса озона в виде слоя, называемого иногда «*озоносферой*». Характеризовать распределение озона в атмосфере удастся путем косвенных расчетов, спектрографов, поднимаемых на значительные высоты и регистрирующих солнечный спектр, по границе которого в ультрафиолетовой части можно определить изменение количества озона. Фотографирование солнечного спектра производится при подъемах на стратостатах до 22 км; спектрографы с автоматической регистрацией поднимаются на шарах-зондах до 29 км, на ракетах – до 88 км. Последние подъемы показали, что на высоте 70-75 км ультрафиолетовая часть солнечного спектра регистрируется уже полностью, следовательно, озон в них практически отсутствует.

Наблюдения в различных пунктах Земного шара выявили изменения содержания озона в зависимости от географической широты и времени года. В экваториальных областях озоновый слой составляет около 2 мм, в высоких широтах возрастает до 3-14 мм. В умеренных и высоких широтах наблюдаются годовые изменения содержания озона: максимум – весной или в начале лета, минимум – осенью или зимой. В нижней стратосфере (от 10 до 20 км) благодаря горизонтальному и вертикальному обмену содержание озона колеблется наиболее значительно; в тропосфере оно так же непостоянно и зависит как от притока озона из стратосферы, так и от местных озonoобразующих факторов – грозных разрядов и т.д.

Присутствие озона в атмосфере и образование озонового слоя может быть объяснено на основе фотохимической теории, в соответствии с которой образование и разрушение озона в атмосфере происходит под действием ультрафиолетовой радиации Солнца. В высоких слоях идет процесс диссоциации молекул кислорода O₂ на атомы под действием наиболее коротковолновой ультрафиолетовой радиации (с длинами волн меньше 2000 Å)



С появлением свободных атомов кислорода возможна реакция



где М – любая частица, принимающая на себя избыточную энергию.

С другой стороны, под воздействием ультрафиолетовых лучей с большей длиной волны происходит разрушение молекул озона.

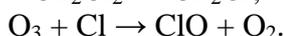
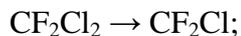
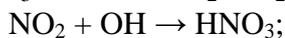
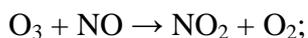
Таким образом, в зависимости от соотношения поглощенной энергии кислородом и озоном устанавливается равновесная концентрация O_3 , которая может быть рассчитана теоретически. Можно показать, что на некоторой высоте должен образоваться слой максимальной концентрации озона.

Ультрафиолетовые лучи Солнца несут энергию, губительную для живых организмов. Биологическое значение озонового слоя заключается в том, что он поглощает основную часть ультрафиолетового излучения Солнца, попадающего на Землю. Даже незначительное изменение интенсивности ультрафиолетовой радиации имеет большое биологическое значение. Тепловой режим стратосферы зависит от озона в очень сильной степени: высокие температуры в средней стратосфере непосредственно связаны с поглощением солнечной радиации озоном.

В середине 70-х годов XX века стало известно, что некоторые вещества, а именно, фреоны, используемые в холодильниках и аэрозольных баллончиках, могут вызывать уменьшение содержания озона в стратосфере. *Фреоны* (общеупотребительное название класса веществ, называемых хлорфторводородами) замечательны во многих отношениях: они летучи, но не огнеопасны, не обладают запахом и, по крайней мере, в нижней атмосфере химически стабильны и не вступают в реакцию с другими веществами. К сожалению, под действием ультрафиолетового излучения молекулы фреона расщепляются с образованием атомов хлора, которые

в свою очередь, могут реагировать с озоном и уменьшать его содержание в атмосфере.

Фреоны, высвобожденные около земной поверхности, медленно поднимаются и через 10 – 20 лет достигают верхней границы озонового слоя, где оказываются под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. В результате этого концентрация озона под воздействием фотохимических реакций начинает медленно, но неотвратимо уменьшаться, что может иметь серьезные последствия. Мировая общественность постоянно принимает меры по запрещению использования в технике озоноразрушающих веществ, кроме некоторых особых случаев в медицине. Однако фреоны продолжают использоваться в холодильных установках, поскольку их среднегодовая утечка в этом случае относительно невелика; кроме того, они имеют большее практическое значение. Однако в целом считается, что окислы азота, являющиеся продуктом выброса двигателей реактивных самолетов, ракет, химических предприятий, фреоны, применяющиеся в качестве пропеллентов в аэрозольных баллонах с освежителями воздуха, чистящими средствами, в качестве хладагентов в холодильных машинах и др., разрушают озоновый слой и приводят к образованию кислотных дождей. К числу некоторых протекающих при этом реакций относятся следующие:



Предполагается, что и другие широко используемые вещества, например, азотистые удобрения и метилхлороформ, используемый в качестве растворителя, также могут представлять угрозу для озонового слоя.

В настоящее время никто не может с уверенностью сказать, что применение фреонов, удобрений и других представляющих опасность для озонового слоя веществ настолько вредно, как утверждают некоторые ученые. Концентрация озона в атмосфере сильно меняется, поэтому трудно уловить ее незначительные колебания. Однако опыт требует свести к минимуму возможный риск ввиду серьезных последствий, к которым может привести значительное уменьшение содержания озона.

2.4. Гидросфера

Гидросфера – совокупность вод Земного шара, прерывистая водная оболочка Земли, которая включает химически не связанную жидкую, твердую и газообразную воду. К гидросфере относятся все воды морей и океанов, рек, озер, а также материковые льды Арктики и Антарктиды. С водами гидросферы тесно связаны и подземные воды. В соответствии с последними данными, объем воды в гидросфере составляет 1386 млн. км³, из которых 1338 млн. км³ (96,5 %) – в океанах и морях, 23,4 млн. км³ (1,7 %) – в подземных водах, 0,21 млн. км³ (0,015 %) – в поверхностных водах суши (озера, реки, болота, почвенные воды), около 0,013 млн. км³ – в атмосфере и 0,001 млн. км³ – в живых организмах. Гидросфера является источником водных и гидроэнергетических ресурсов планеты. Пресные воды гидросферы – основной источник водоснабжения, орошения и обводнения – составляют 35 млн. км³ (2,5 % ее объема) (рис. 2.29).

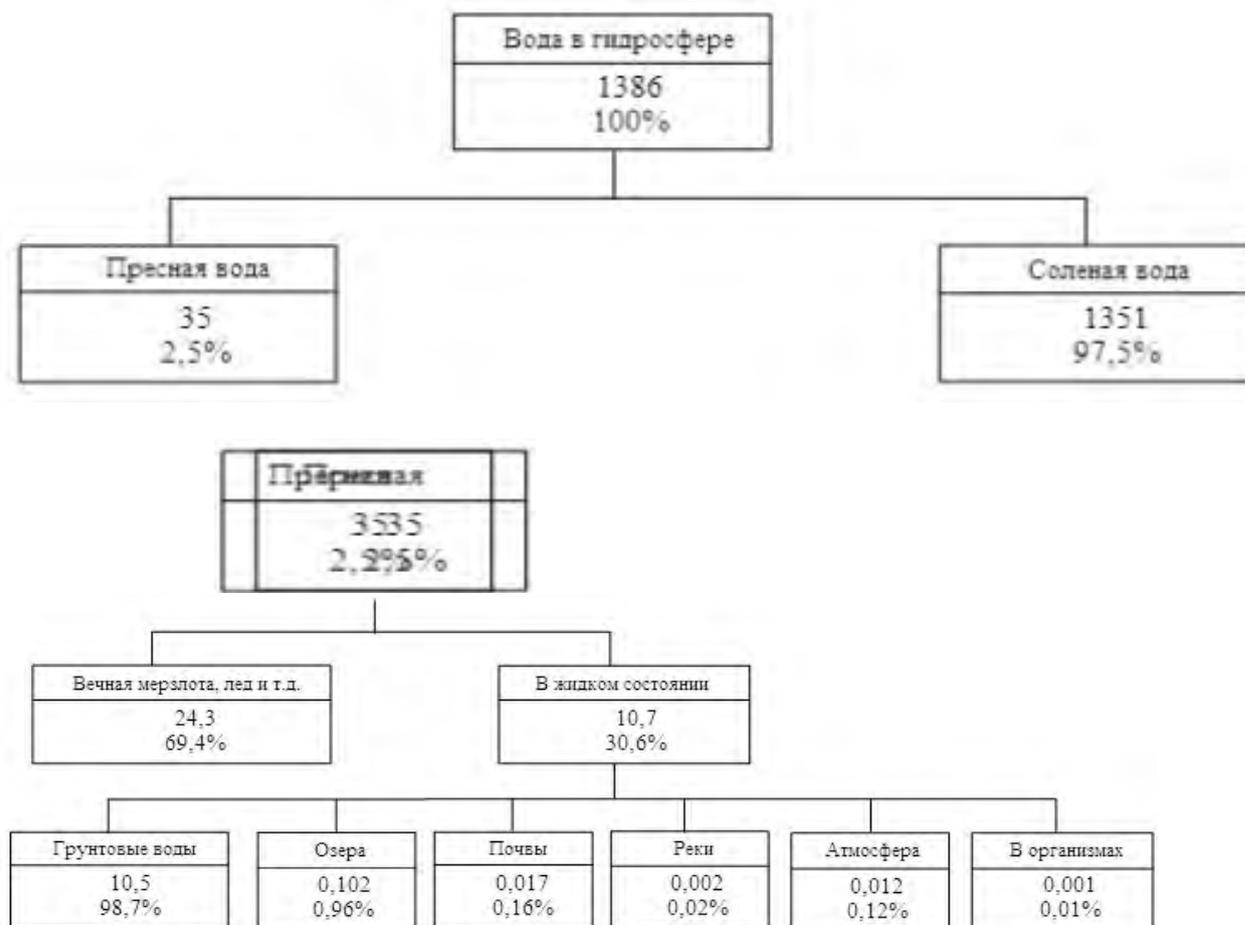


Рис. 2.29. Водные ресурсы Земли (10⁶ км³) (Saiejs & van Berkel, 1995)

В Республике Беларусь главными водными объектами являются озера, реки, водохранилища и др. Их основные характеристики приведены в табл. 2.4 – 2.6.

Таблица 2.4

Объем воды и площади водной поверхности водотоков и водоемов

Водные объекты	Объем воды		Площадь поверхности	
	км ³	%	км ²	%
Реки	3,08	29,7	1028	26,6
Озера	6,00	50,0	2000	50,2
Водоохранилища	2,43	20,0	606	16,2
Пруды	0,38	0,3	301	8,0
Всего	11,89	100	3935	100

Реки Республики Беларусь

Категории	Длина, км	Количество	Общая длина	% от общей длины
Самые малые	менее 25	20403	65066	72
Малые	26-100	329	14554	16
Средние	101-500	41	6702	8
Большие	более 500	7	3409	4
Всего	-	20780	90631	100

Самыми длинными реками в республике являются: Днепр (в границах Беларуси – (689 км), Березина (613 км), Припять (500 км), Сож (485 км), Неман (459 км), Западная Двина (328 км).

Средняя плотность речной сети составляет 0,44 км/км².

Таблица 2.6

Распределение наиболее значимых озер и озерности по областям Беларуси

Области	Количество озер	Общая площадь озер, км ²	Озерность, %
Брестская	94	109,3	0,33
Витебская	1431	917,6	2,3
Гомельская	76	55,1	0,14
Гродненская	208	29,4	0,12
Минская	128	209	0,52
Итого	1901	1329,0	0,64

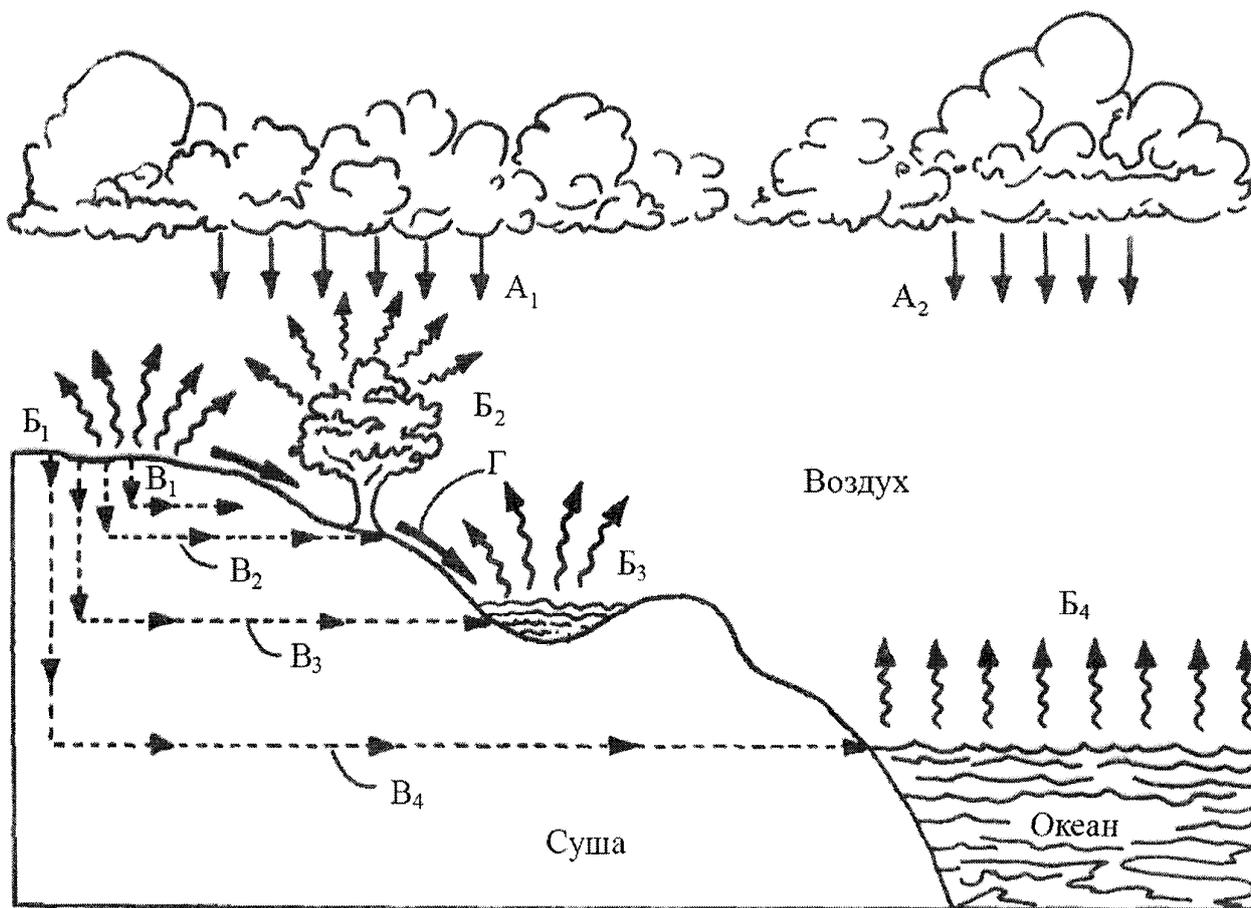
В целом в Беларуси насчитывается около 10800 озер, суммарная площадь которых – почти 2000 км², общий объем воды – 6-7 км³. Самые большие по площади – озера Нарочь (79,6 км²), Освейское (52,8 км²), Червоное (40,8 км²); самое глубокое – Долгое (53,7 м). Озера размещаются, в основном, на севере (Белорусское Поозерье) и на юге (Полесское).

Изучением гидросферы занимается *гидрология* – наука о водах Земли, их свойствах, распространении и протекающих в них процессах. Людей давно занимал вопрос, почему океаны не выходят из берегов, хотя реки постоянно выносят в них огромные массы воды. Когда выяснилось, что вода при нагревании может переходить из жидкого состояния в газообразное, стало очевидно, что под воздействием солнечного тепла нагревается поверхность океана, и вода постоянно превращается в пар, т.е. происходит испарение с очень большой поверхности воды. Метеорология также постепенно раскрывала причины изменений погоды. Стало известно, что дождь выпадает из облаков, а облака состоят из крошечных капелек воды или кристаллов льда. Наконец, происхождение облаков было соотнесено со скоплениями водяного пара в атмосфере, а описание гидрологического цикла – круговорота воды в природе – стало краеугольным камнем гидрологии (рис. 2.30).

По сути, источником всех вод суши является океан. Молекула воды начинает свой путь в этом цикле, когда, получив несколько больше тепловой энергии по сравнению с соседними молекулами, преодолевает поверхностное натяжение жидкости и превращается в молекулу пара. Воздух, в который попадает молекула, вовлечен в процесс циркуляции, порожденный неравномерным нагреванием полярной и тропической зон, перепадами атмосферного давления и вращением Земли. Циркуляция атмосферы в Северном полушарии в целом направлена с запада на восток.

При нагревании воздуха на контакте с более теплой поверхностью океана или суши нагретая отдельная частица расширяется, становясь менее плотной, чем частицы, находящиеся непосредственно выше нее, и благодаря большей подъемной силе, действующей на нее, устремляется вверх. Однако в соответствии с известным физическим законом, расширение

происходит за счет запаса тепла, поэтому, поднимаясь, воздушные частицы охлаждаются до тех пор, пока температура не понизится до такой степени, что влага уже не сможет оставаться в газообразном состоянии и не произойдет конденсация пара. Крошечные капельки воды, взвешенные в атмосфере, образуют облака. При соответствующих условиях эти капельки сливаются вокруг ядер конденсации (кристаллов льда или пылинок), а достигнув веса, достаточного для преодоления сопротивления воздуха, падают на землю в виде дождя, снега или града. Когда частица воды вместе с наземным или подземным стоком снова попадает в океан, это означает, что она совершила свой полный круговорот в природе.



*Рис. 2.30. Круговорот воды в природе:
 A_1 – осадки, выпадающие на сушу и океан; $B_1...B_4$ – испарение воды;
 $B_1...B_4$ – перемещение подземных вод; Γ – поверхностный сток*

Воды гидросферы находятся в постоянном взаимодействии с атмосферой, земной корой и биосферой. Взаимодействие и переход одного вида воды в другие осуществляется в процессе круговорота воды; при этом следует учитывать такие явления, как испарение, транспирация, поверхностный сток, инфильтрация и др.

О круговороте воды на территории Республики Беларусь можно судить по следующим данным: выпадающие осадки – 146 км^3 ; испарение – 112 км^3 ; поверхностный сток – 34 км^3 .

Водный баланс Земли представлен на рис. 2.31.

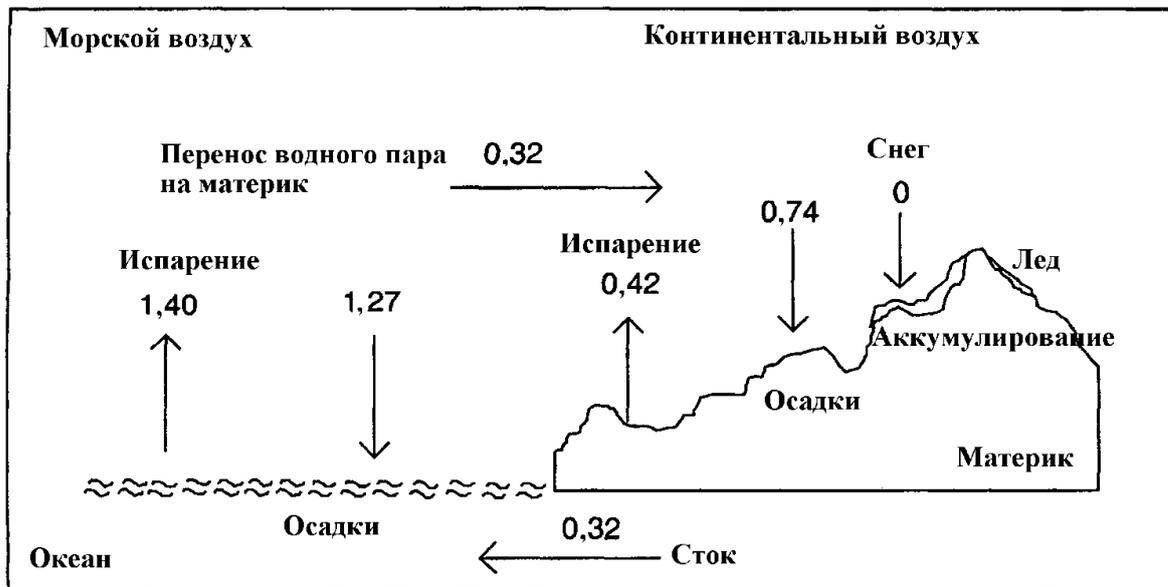


Рис. 2.31. Водный баланс Земли (10^3 мм/год) (Saiejs & van Berkel, 1995)

Испарение – преобразование воды в пар – представляет собой важный энергетический переход в постоянном круговороте воды в природе. Он происходит почти непрерывно в результате испарения со всех водных и влажных поверхностей и транспирации растениями. Количественная оценка испарения обычно выполняется косвенным путем. При идеальных условиях испарение с поверхности озера можно определить путем измерения суммарного поступления в него воды, стока из него и аккумуляировавшейся воды. При этом предполагается, что остаточная составляющая баланса, необходимая для сохранения равновесия системы, соответствует испарению. Такой метод обычно неудовлетворителен, так как невозможно точно оценить прочие элементы водного баланса, например, просачивание воды в грунт. Близкий подход, называемый *методом энергетического баланса*, заключается в измерении поступающей тепловой энергии, отдаваемой озером и накопленной в нем. Надежность этого метода повышается благодаря огромному количеству тепловой энергии, затрачиваемой на испарение воды (скрытой теплоты парообразования).

Транспирация пышной зеленой растительностью, образующей сплошной покров и в достатке получающей влагу, почти равна испарению с поверхности соседних озер. Если вода, извлеченная из почвы и затраченная на транспирацию, не восполняется за счет осадков или орошения, почва начинает иссушаться, скорость транспирации падает, и, наконец, растения увядают из-за дефицита воды. Таким образом, в годовом осреднении транспирация в районах с достаточным увлажнением несколько меньше, чем испарение с открытой водной поверхности, а в аридных районах ограничивается количеством осадков.

Поверхностный сток формируется, когда дождь выпадает или снег тает со скоростью, превышающей скорость просачивания воды в грунт. Сначала вода заполняет небольшие углубления на поверхности земли, которые, переполнившись, сливаются вместе и образуют промоины и ручейки, продолжающие сливаться, расширяться и превращаться в ручьи и реки, на которых может быть измерен сток.

Питание водотоков осуществляется двумя путями:

- 1) дождевой или талой снеговой водой, стекающей с поверхности;
- 2) водой, поступающей со дна русла и с возвышенностей в долину.

Последний источник включает воды, поступающие с ливнями на поверхность почвы неподалеку от русла, просачивающиеся в нее и быстро перемещающиеся на небольшой глубине в направлении русла, а при достижении его – смешивающиеся с поверхностным стоком; воды, просачивающиеся вглубь и достигающие уровня грунтовых вод, имеющих выход в глубокие долины, имеющие такие водоносные горизонты. Первые – внутрипочвенный ливневый сток – не могут быть измерены отдельно от поверхностного стока; вторые, называемые грунтовыми водами, поддерживают существование водотоков в периоды, когда осадки не выпадают.

Гидрографы представляют собой графическое изображение изменений уровня воды в данном створе водотока за определенный промежуток времени. Если подъем уровня воды приводит к затоплению берегов, гидрограф называется *гидрографом паводка*.

Инфильтрация возникает, когда часть атмосферных осадков, которая просачивается в грунт, подчиняется воздействию двух сил – силы тяжести и силы молекулярного притяжения между частицами грунта и водой. Эти силы в целом противостоят друг другу. Вода, обволакивающая частицы грунта, – гигроскопическая вода, или влажность почвы, – играет важную роль в поддержании жизнедеятельности растений. Вода, прокладывая себе путь вниз по порам между частицами почвы, в конце концов достигает наземных водотоков или уровня грунтовых вод. Если зеркало грунтовых вод располагается ниже русла потока, на поверхность они могут быть выведены либо в результате откачивания насосами из скважин, либо через артезианские источники и родники, если создается достаточное гидростатическое давление.

Капиллярное поднятие воды можно представить на примере опыта. Если открытый конец трубки, заполненной сухим песком, погрузить в сосуд с водой, вода в ней поднимется несколько выше уровня жидкости в сосуде. Если в трубку помещать разные грунты, высота, на которую поднимется вода, будет зависеть от их физических свойств (размерности частиц, пористости и пр.). Такой подъем уровня воды, противоположный направлению силы тяжести, является суммарным результатом действия трех сил – молекулярного притяжения между частицами грунта и водой, поверхностного натяжения воды и ее способности противостоят силам, стремящимся разъединить их. В природе иссякшие запасы почвенной влаги компенсируются капиллярным поднятием воды из горизонтов, расположенных ниже корнеобитаемой зоны, которое зависит от размерности почвенно-грунтовых частиц и глубины залегания грунтовых вод.

Движение **грунтовых вод** зависит от скорости фильтрации воды в рыхлых отложениях, сквозь которые они текут, и некоторых физических свойств этих отложений (в особенности от гранулометрического состава, т.е. количественного соотношения частиц разного размера), перепада высот между вершиной и устьем водоносного горизонта и его протяженности. Эти взаимосвязи могут быть выражены простейшими математическими формулами.

Круговорот воды (рис. 2.32) в целом – это процесс циркуляции воды под влиянием солнечной радиации и силы тяжести.

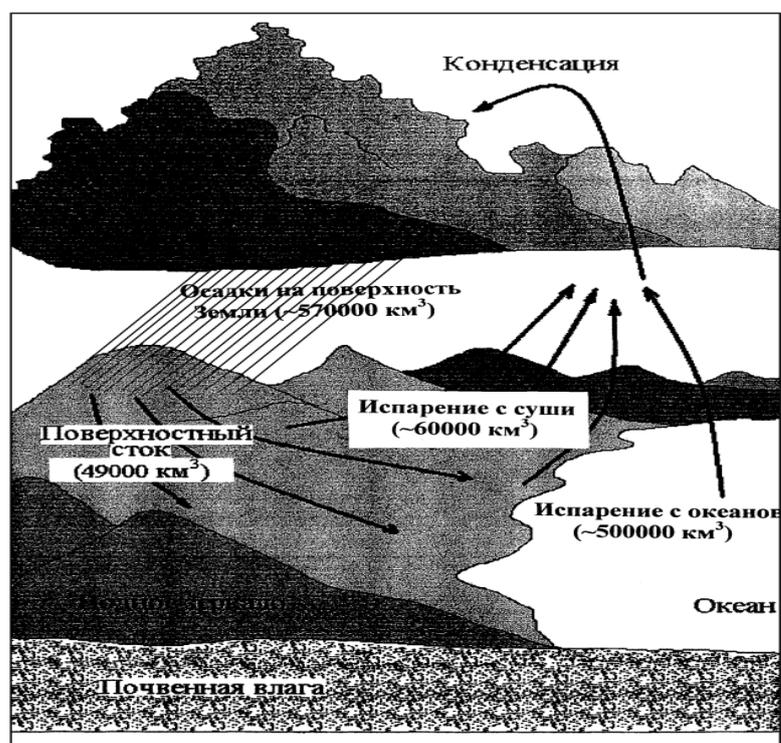


Рис. 2.32. Характерные особенности круговорота воды на Земле

За счет притока солнечной энергии с поверхности мирового океана за год испаряется примерно 448 тыс. км³, с суши – 71 тыс. км³ воды. Водяной пар, испарившийся с поверхности морей и океанов, большей частью конденсируется и возвращается в виде атмосферных осадков в океан (*малый, или океанический круг*): море (океан) – атмосфера – море (океан) и частично переносится воздушными течениями на сушу. Атмосферные осадки, выпадающие на сушу, частично просачиваются в почву и образуют грунтовые воды, часть которых стекает по земной поверхности, образуя ручьи и реки, а другая часть снова испаряется. В конце концов вода, принесенная воздушными течениями на сушу, стекая, снова достигает океана, завершая так называемый *большой круговорот воды на земном шаре*: океан – атмосфера – суша – океан. Из этого общего кругооборота может быть выделен еще *местный, или внутриматериковый кругооборот*, в котором участвует вода, испарившаяся с поверхности суши, конденсировавшаяся в атмосфере и вновь выпавшая на сушу в виде атмосферных осадков. Небольшая часть воды из общего объема, участвующего в круговороте, – порядка 7,7 тыс. км³/год, – совершает круговорот в пределах бессточных областей.

Период обновления воды на Земле в различных источниках принято считать следующим:

мировой океан –	2500 лет
подземные воды –	1400 лет
влажность почвы –	1 год
вода озер –	17 лет
вода болот –	5 лет
вода рек –	16 дней
биологическая вода –	несколько часов
вода воздуха –	8 дней

В нашей стране, в Российской Федерации и других странах вопросам исследования гидросферы и отдельных ее составляющих уделяется огромное внимание. Созданы и функционируют водомерные посты, изучаются закономерности поверхностного стока, выпадения осадков, водного баланса в целом. В России гидрографические исследования были начаты еще при Петре I и связаны с развитием речного транспорта. В августе 1770 г. впервые был измерен расход воды на р. Волга в районе Камышина. В 1715 году был построен первый водомерный пост на р. Неве около Петропавловской крепости. По приказу Петра I с этого времени стали проводиться наблюдения за уровнем воды в реках. Подобные исследования проводились и на реках Беларуси.

Наиболее известные гидрологические издания того времени: «Атлас Российский» (1745 г.); «Гидрографический Атлас Российской империи» (1832 г.); «Гидрография России» в 6 томах (1844-1849 гг.) имели большое значение для развития гидрографии как самостоятельной науки.

2.5. Литосфера

Литосфера – это наружная твердая оболочка Земли, которую часто объединяют с термином «земная кора». Мощность литосферы в океанах составляет от 5 до 100 км, на континентах – до 25-200 км. Земная кора исследовалась различными методами до глубины 15-20 км, а методами бурения – до глубины 8 км. Для нее свойственно слоисто-блочное строение, обусловленное глубинными разломами и горизонтальными границами.

Литосфера состоит из разнообразных пород и минералов. Химический состав в процентах по весу до глубины 16 км принято считать следующим:

Кислород –	46,8
Кремний –	27,3
Алюминий –	8,7
Натрий –	2,6
Калий –	2,6
Титан –	0,6
Железо –	5,1

Кальций – 3,6
Магний – 2,1
Водород – 0,15
Фосфор – 0,08
Углерод – 0,1

На остальные многочисленные химические элементы в сумме приходится около 0,5 % состава земной коры.

Третья часть поверхности земной коры приходится на выступы литосферы, образующие *материки*. Наиболее высокой точкой материка является гора Эверест в Гималаях, высота которой достигает 8848 м. Средняя высота материковых выступов равна 875 м над уровнем моря. В северном полушарии материка занимают $100,5 \cdot 10^6$ км², в южном – $48,5 \cdot 10^6$ км². Наибольшую площадь на материках ($48,2 \cdot 10^6$ км²) занимают низины (0-200 м над уровнем моря). Возвышенности и плато (200-500 м над уровнем моря) распределены на площади в $33 \cdot 10^6$ км². Горы выше 500 м занимают остальную часть суши, а горы выше 2000 м – только $16 \cdot 10^6$ км². Часто высокие горы располагаются вблизи глубоких впадин. Около 800 тыс. км² суши лежит ниже уровня моря (депрессия) и размещены в бессточных областях материков.

Рельеф Беларуси – преимущественно равнинно-холмистый со средней высотой над уровнем моря 160 м. Высшая точка – Держинский холм в Минской области (345 м над уровнем моря), низшая – Неманская долина в Гродненской области (80-90 м над уровнем моря).

Между литосферой, стратосферой, гидросферой и биосферой существует постоянное взаимодействие, которое сопровождается изменениями в составе и строении наружной оболочки земной коры, развитием атмосферных процессов и возникновением различного рода природных явлений.

2.6. Биосфера

Биосфера – это оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой обусловлены совокупной деятельностью и влиянием живых организмов. Она включает живых существ (около 3 млн. видов), их остатки, приземную часть атмосферы до высоты озонового слоя (20-30 км), всю гидросферу и верхнюю часть литосферы. Нижняя часть биосферы на суше находится на глубине до 3-4 км от поверхности земной коры, в Мировом океане – на 1-2 км ниже его дна.

Выдающийся ученый XX века Владимир Иванович Вернадский (1863 – 1945 гг.) определял биосферу таким образом: «...это оболочка Земного шара, включающая нижнюю часть атмосферы, практически всю гидросферу, то есть мировой океан, и всю водную оболочку Земли, а также верхнюю часть литосферы в разных местах планеты разной толщины, в создании и изменениях которой основную роль играют живые организмы». В.И.Вернадскому принадлежит идея перехода биосферы в ноосферу – оболочку Земли, в которой деятельность человеческого разума, *Nominis sapientis*, приобретает характер геологического процесса.

Биосферу В.И.Вернадский разделяет на два вида: действительно *живую современную биосферу*, то есть ту часть поверхности нашей планеты, где сейчас живут и действуют различные живые организмы, начиная от мельчайших микробов и кончая человеком (активная биосфера), и *область измельченных горных пород*, которые в свое время получились из твердых горных образований, включающих органические остатки погибших существ.

В биосфере различают 7 различных взаимосвязанных типов веществ:

- 1) живые вещества (из которых состоят растения, животные и микроорганизмы);
- 2) биогенные вещества (продукты жизнедеятельности живых организмов – горючие ископаемые, известняки и др.);
- 3) косные вещества (горные породы магматического, неорганического происхождения, вода и др.);
- 4) биокосные вещества (продукты распада и переработки горных и осадочных пород живыми организмами);
- 5) радиоактивные вещества;
- 6) рассеянные атомы;
- 7) вещества космического происхождения.

Основная функция биосферы – использование солнечной энергии (фотосинтез) и биологический кругооборот веществ и энергии, обеспечивающий развитие всех жизненных процессов. Живые организмы (живые вещества) и жизненная среда органично связаны между собой и создают систему *глобального, регионального и локального уровней*. В региональных и локальных системах выделяются природные зоны на равнинах и высотные природные пояса в горах. Биосфера по структуре и составу является мозаичной и отражает геохимическую и геофизическую неоднородность облика Земли. Более 90 % всех живых веществ биосферы приходится на наземную растительность.

Общая масса живых веществ биосферы оценивается в $1,8-2,5 \cdot 10^{12}$ т (в пересчете на сухое вещество) и составляет незначительную часть массы биосферы ($3 \cdot 10^{18}$ т). На состояние биосферы огромное влияние оказывает деятельность человека. Биосфера, в свою очередь, влияет на погодно-климатические условия местности и в целом на климат Земли.

3. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА АТМОСФЕРУ

3.1. Общая характеристика Солнца

Солнце – источник жизни и почти всех физических и химических явлений на Земле. Тепло и свет, получаемые от Солнца, – не только основа возникновения и существования жизни, но и причина всех изменений в атмосфере и гидросфере Земли. Всем хорошо известна огромная роль, которую играет Солнце в жизни человека. Даже такие не имеющие, на первый взгляд никакого отношения к Солнцу источники энергии, как нефть со всеми ее продуктами и каменный уголь, являются «законсервированной» с очень давних времен энергией солнца. Энергия ветра и энергия течения рек – тоже энергия Солнца, только преобразованная в другие виды.

Однако интерес к Солнцу определяется не только тем, что оно является мощным источником света и тепла. Солнце является центральным телом Солнечной системы. В нем сосредоточено 99,866 % от ее массы. Среднее расстояние Земли от Солнца составляет 149500000 км, свет от Солнца до Земли проходит это расстояние за 8 минут 19 секунд. Само солнце является огромным раскаленным газовым шаром. Его поперечник составляет 1390000 км, то есть в 109 раз больше поперечника Земли. Масса Солнца составляет $1,991 \cdot 10^{30}$ кг, а средняя плотность – 1410 кг/м^3 . Ускорение силы тяжести равно 274 м/с^2 , период обращения – 27 солнечных суток на экваторе и 32 – на полюсах. Основную массу составляет водород, гелия – в 4-8 раз меньше, остальные элементы составляют около 1 %.

3.2. Структура Солнца

Солнце состоит из ядра, зоны лучевого переноса энергии, конвективной зоны, фотосферы, хромосферы и солнечной короны. Наблюдатель с Земли видит поверхностную область Солнца – фотосферу.

Фотосфера – самый плотный слой солнечной атмосферы, из которого выходит основная часть электромагнитного излучения. Структурными элементами фотосферы являются грануляция, пятна и факелы. Толщина этого слоя – 200-300 км, температура $t = 4500-8000 \text{ К}$, плотность $\rho = 2 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$.

Наблюдения показывают, что фотосфера не находится в спокойном состоянии. Об этом говорит явление грануляции: при рассмотрении Солнца в телескоп его поверхность кажется не равномерной, а состоящей из отдельных ярких зерен – гранул. Картина грануляции непрерывно меняется: гранула, появившись, через 2-3 минуты исчезает, а на ее месте появляется новая. Более нагретые газы (светлые гранулы) поднимаются из ее глубоких слоев и, охладившись, опускаются. Их заменяют новые гранулы. На поверхности фотосферы наблюдаются токи, пятна и факелы.

Из слоев, расположенных непосредственно под фотосферой, излучение раскаленных газов наружу не происходит, т.к. полностью поглощается ею. Над фотосферой расположены две следующие друг за другом оболочки – хромосфера и корона. Однако по сравнению с фотосферой количество света и тепла, излучаемое этими оболочками, ничтожно мало.

Хромосфера по сравнению с фотосферой является более разреженной. Ее средняя плотность $\rho = 10^{-9}$ кг/м³.

Название «хромосфера» по-гречески означает «окрашенная» и связано с тем, что во время полных солнечных затмений она видна в виде яркого, имеющего розовый цвет ободка, окружающего закрытый от нас Луной диск Солнца. Толщина хромосферы составляет около 15000 км. Вне затмений хромосферу также можно наблюдать, но с помощью специальных приборов. Излучение хромосферы показывает, что она состоит из отдельных «стеблей», в совокупности напоминающих вид горящей свечи. Хромосфера в еще большей степени, чем фотосфера, находится в неустойчивом состоянии, хотя ее средняя толщина остается приблизительно одинаковой. Плотность вещества в ней быстро падает с высотой, а температура растет, и этот рост не случаен, т.к. температура солнечной короны чрезвычайно высока, а хромосфера является некоторым переходным слоем между фотосферой и короной. Следует указать, что тепловой режим хромосферы крайне сложен. Хотя температура более нижних ее слоев относительно невысока (порядка 6000 - 7000 °С), но в то же время здесь наряду с газами, имеющими указанную температуру, присутствуют наподобие своеобразных «вкраплений» небольшие области газа, нагретого до значительно больших температур. Этот составной характер строения хромосферы изучен и описан в работах Пулковской обсерватории.

Солнечная корона является самой внешней и самой протяженной оболочкой Солнца. Она распространяется на миллионы километров и имеет крайне сложное строение. Наиболее характерная особенность внешнего вида короны – это лучи, протягивающиеся от Солнца. В зависимости от положения Земли относительно Солнца изменяется солнечное сияние и радиация на Земле.

Для определения продолжительности солнечного сияния используются **гелиографы** (рис. 3.1).

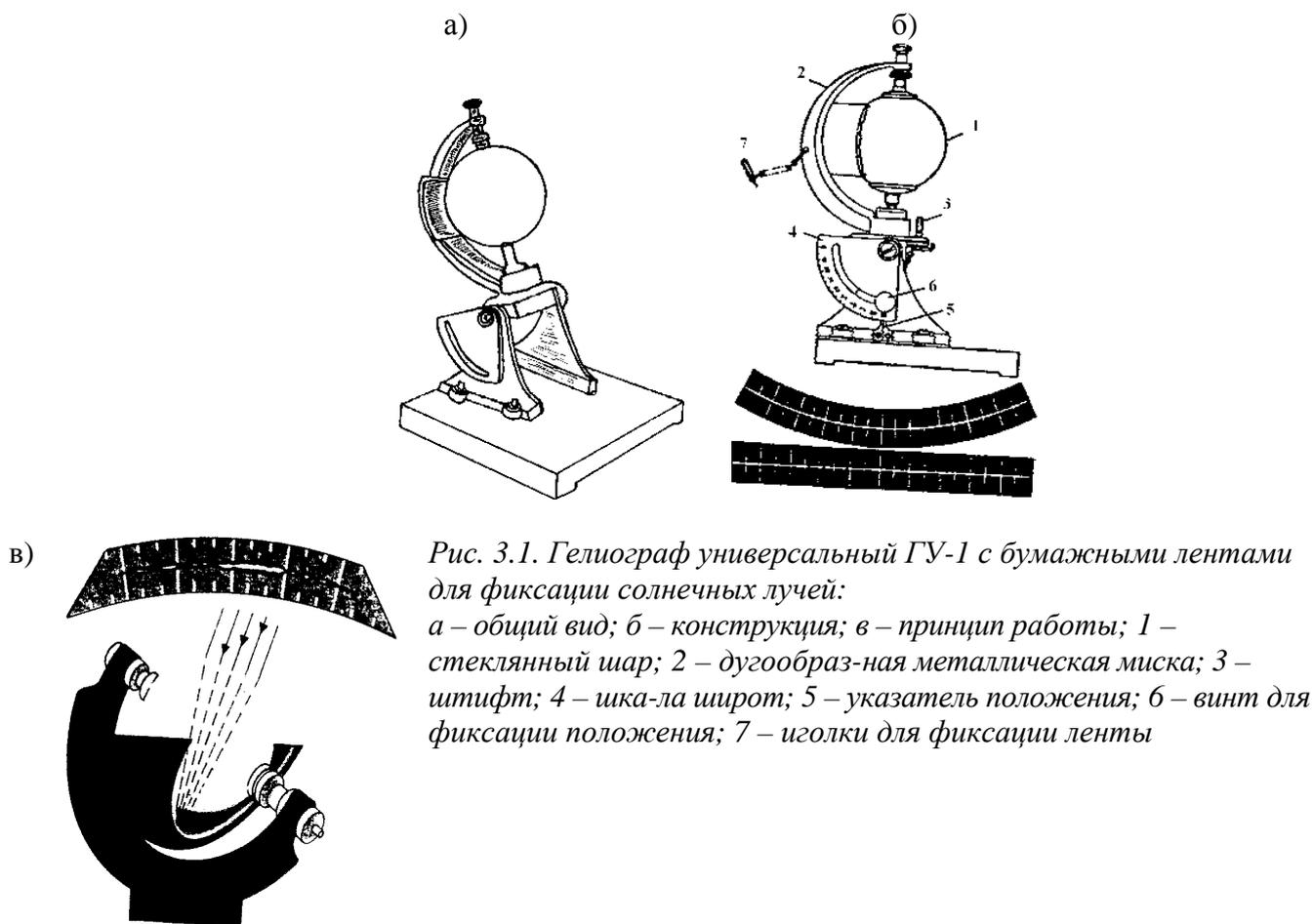


Рис. 3.1. Гелиограф универсальный ГУ-1 с бумажными лентами для фиксации солнечных лучей:

а – общий вид; б – конструкция; в – принцип работы; 1 – стеклянный шар; 2 – дугообразная металлическая миска; 3 – штифт; 4 – шкала широт; 5 – указатель положения; 6 – винт для фиксации положения; 7 – иголки для фиксации ленты

Гелиограф Камбело-Стокса регистрирует продолжительность солнечного сияния. Стеклянный шар фокусирует солнечные лучи на специально приготовленную ленту; пока Солнце

светит, на ней выжигается след. Инструмент ориентирован на полуденное солнце; наклон оси прибора устанавливается в соответствии с положением Солнца. На чаше, расположенной позади стеклянного шара, имеется три пары желобков, предназначенных для закладывания лент зимой, летом и в промежуточные сезоны.

3.3. Солнечная радиация

Количественной мерой солнечной радиации, поступающей на некоторую поверхность, служит *энергетическая освещенность, или плотность потока радиации*, т.е. количество лучистой энергии, падающей в единицу времени на эту поверхность. Энергетическая освещенность измеряется в Вт/м² (или кВт/м²); это означает, что на 1 м² в секунду поступает 1 Дж (или 1 кДж) лучистой энергии.

Энергетическую освещенность солнечной радиации, падающей на верхней границе атмосферы на единицу площади, перпендикулярной к солнечным лучам, при среднем расстоянии Земли от Солнца называют *солнечной постоянной S**. Она равна $S_0 = 1,353 \text{ кВт/м}^2$ или $1,98 \text{ кВт/см}^2\text{мин}$. Условие «на верхней границе атмосферы» означает, что рассматривается энергетическая освещенность солнечной радиации до вступления в атмосферу. Смысл слова «постоянная» в том, что эта величина относится к радиации, на которую атмосфера еще не повлияла. Таким образом, солнечная постоянная зависит только от излучательной способности Солнца и от расстояния Земли до Солнца.

Как известно, Земля вращается вокруг Солнца по малорастянутому эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. В начале января Земля наиболее близка к Солнцу ($147 \cdot 10^6$ км), в начале июля – наиболее далека от него ($152 \cdot 10^6$ км). Энергетическая освещенность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, поэтому при самом близком положении Земли к Солнцу около 3 января энергетическая освещенность на верхней границе атмосферы равна 1,033 от S^* , а при самом далеком положении около 5 июля – 0,967 от S^* . Таким образом, в течение года энергетическая освещенность на верхней границе атмосферы изменяется на $\pm 3,3\%$. Существуют формулы, позволяющие определить энергетическую освещенность на верхней границе атмосферы в любой день года.

Изменяется ли, и насколько существенно, солнечная постоянная с течением времени, исключая изменения, связанные с изменением расстояния между Землей и Солнцем? Иначе говоря, изменяется ли с течением времени излучение Солнца? Чтобы ответить на этот вопрос, важно знать, о каких масштабах времени идет речь. Если рассматривать геологическую историю Земли, то, вероятно, солнечная постоянная менялась; однако, как утверждает современная теория эволюции звезд, эти изменения происходили в масштабах времени порядка нескольких миллиардов лет. Таким образом, солнечная постоянная в течение больших промежутков времени действительно оставалась постоянной. Вопрос об изменениях солнечной постоянной в масштабах нескольких десятилетий остается открытым. Последние измерения солнечной постоянной со спутников обнаружили, что во временных масштабах (от дней до недель) солнечная постоянная меняется на уровне нескольких десятых процента. Поэтому для большинства практических целей солнечная постоянная S^* может рассматриваться не изменяющейся во времени.

На освещенное полушарие Земли на верхней границе атмосферы падает количество солнечной энергии, равное произведению солнечной постоянной на площадь большого круга Земли. При среднем радиусе Земли 6371 км эта площадь равна $\pi R^2 = 1,275 \cdot 10^{14} \text{ м}^2$, а приходящая на нее лучистая энергия равна $1,743 \cdot 10^{17} \text{ Вт}$. За год Земля получает $5,49 \cdot 10^{24} \text{ Дж}$.

В среднем на каждый квадратный километр на верхней границе атмосферы приходится за год 10,76 - 10 Дж. Чтобы получить такое количество тепла искусственно, нужно сжечь около 400 тыс. т каменного угля. За 1,5 суток Солнце дает Земле столько же энергии, сколько дают электростанции всех стран в течение года. При этом из излучаемой Солнцем энергии ($3,94 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$) Землей улавливается только $1,8 \cdot 10^{17} \text{ Вт}$, т.е. менее полумиллиардной доли всего излучения. Несмотря на постоянную потерю огромного количества электромагнитной энергии, температура Солнца за сравнимые с человеческой историей промежутки времени не понижается. Это объясняется тем, что расход электромагнитной энергии Солнца постоянно компенсируется

поступлением энергии из внутренних областей в результате термоядерных реакций преобразования водорода в гелий, которые непрерывно происходят в глубинах Солнца.

Энергия Солнца распространяется в пространство в виде *электромагнитной* и *корпускулярной радиации*. Электромагнитная радиация достигает Земли в виде электромагнитных волн со скоростью около 300 тыс. км/с. В спектре солнечной радиации на интервал длин волн между 0,1 и 4 мкм приходится 99 % всей энергии солнечного излучения, и всего 1 % остается на радиацию с меньшими и большими длинами волн, вплоть до рентгеновских лучей и радиоволн.

Видимый свет занимает узкий интервал длин волн – всего от 0,40 до 0,76 мкм. Однако в этом интервале заключается 47 %, т.е. почти половина, всей солнечной лучистой энергии. На инфракрасное излучение 0,76-4 мкм приходится 44 %, на ультрафиолетовое 0,01-0,39 мкм – 9 % всей лучистой энергии. Значение излучения на горизонтальную поверхность (S') определяется по формуле

$$S' = S \sin h,$$

где h – высота Солнца над горизонтом.

Проходя через всю атмосферу, солнечная радиация ослабевает (рис. 3.2), частично рассеивается молекулами газов, каплями воды, кристаллами льда и пылью, частично поглощается водяным паром (H_2O), углекислым газом (CO_2), озоном (O_3) и частично отбивается атмосферой.

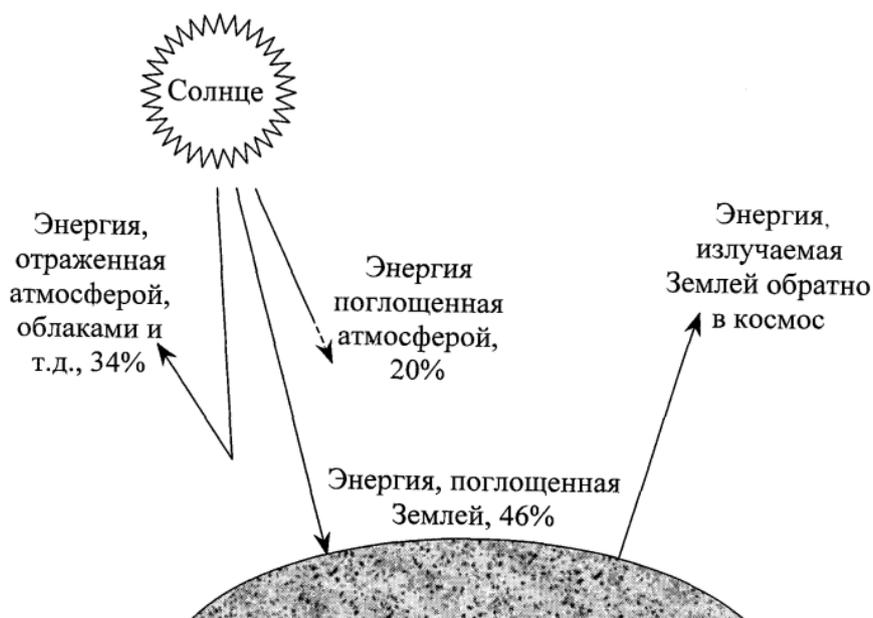


Рис. 3.2. Схема отражения, поглощения и собственного излучения энергии на Земле

При этом изменяется и интенсивность спектрального состава (рис. 3.3). В результате ослабления прямая солнечная радиация у земной поверхности значительно меньше, чем солнечная постоянная. Степень ослабления прямой солнечной радиации в атмосфере характеризуется коэффициентом прозрачности (p) и подчиняется закону ослабления, который выражается формулой Буге

$$S_m = S_0 p m,$$

где S_m – прямая солнечная радиация земной поверхности при свойствах заданной атмосферы;

S_0 – солнечная постоянная;

p – коэффициент прозрачности при данной массе атмосферы;

m – масса атмосферы на пути солнечных лучей.

Значение $m = 1 / \sin h$ приведено в табл. 3.1.

Значение t при разном расположении Солнца

h°	0,1 h°									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	35,40	27,00	19,80	15,40	12,40	10,40	8,90	7,80	6,90	6,18
10	5,60	5,12	4,72	4,37	4,08	3,82	3,59	3,39	3,21	3,05
20	2,90	2,77	2,65	2,55	2,45	2,36	2,27	2,20	2,12	2,06
30	2,00	1,94	1,88	1,83	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	1,59
40	1,55	1,52	1,49	1,46	1,44	1,41	1,39	1,37	1,34	1,32
50	1,30	1,38	1,27	1,25	1,24	1,22	1,20	1,19	1,18	1,17
60	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	1,07
70	1,06	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02
80	1,02	1,01	1,01		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Радиация, которая достигает земной поверхности в виде пучка параллельных лучей непосредственно от Солнца, называется **прямой солнечной радиацией** (S). Радиация, которая поступает на земную поверхность от всего небосвода, называется **рассеянной**.

Прямая и рассеянная радиация вместе взятые образуют **суммарную радиацию** (Q), которая равна

$$Q = S' + D = S \sin h + D.$$

Суммы солнечной радиации изображаются на картах: для Беларуси – в декабре (рис. 3.3), июне (рис. 3.4), за год (рис. 3.5). Для стран СНГ суммарная солнечная радиация характеризуется данными, приведенными на карте (рис. 3.6).

Не вся падающая на землю солнечная радиация поглощается ею и превращается в тепло, – часть ее отражается и, следовательно, теряется подстилающей поверхностью. Эта потеря радиации зависит от величины альbedo земной поверхности.

Часть суммарной радиации поглощается поверхностью почвы, воды, растительным покровом, зданиями, сооружениями и называется **поглощенной радиацией**; часть, которая отражается облаками и земной поверхностью, – **отраженной радиацией**.

Отношение отраженной от земной поверхности радиации R к суммарной Q называется **альbedo**:

$$A = \frac{R}{Q}.$$

Альbedo характеризует отражательную способность рассматриваемой поверхности и выражается в долях единицы или в процентах. В настоящее время имеется довольно обширный фактический материал, позволяющий судить о среднем значении альbedo для различных естественных поверхностей. Альbedo водной поверхности в среднем меньше альbedo большинства естественных поверхностей суши и зависит от угла падения солнечных лучей. Для некоторых поверхностей значения альbedo (в %) следующие:

Вода –	10
Глина сухая –	23
Песок желтый –	35
Песок белый –	35 – 40
Снег сухой чистый –	85 – 90
Снег влажный чистый –	55 – 60
Снег загрязненный –	30 – 40

Лес сосновый –	15
Лес еловый –	9 – 12
Торфяник сухой –	10
Торфяник влажный –	8
Рожь и пшеница (в развитой фазе) –	10 – 15
Зеленая трава –	26
Сухая трава –	19

Измерение альбедо производится при помощи *альбедометров* (рис. 3.7).

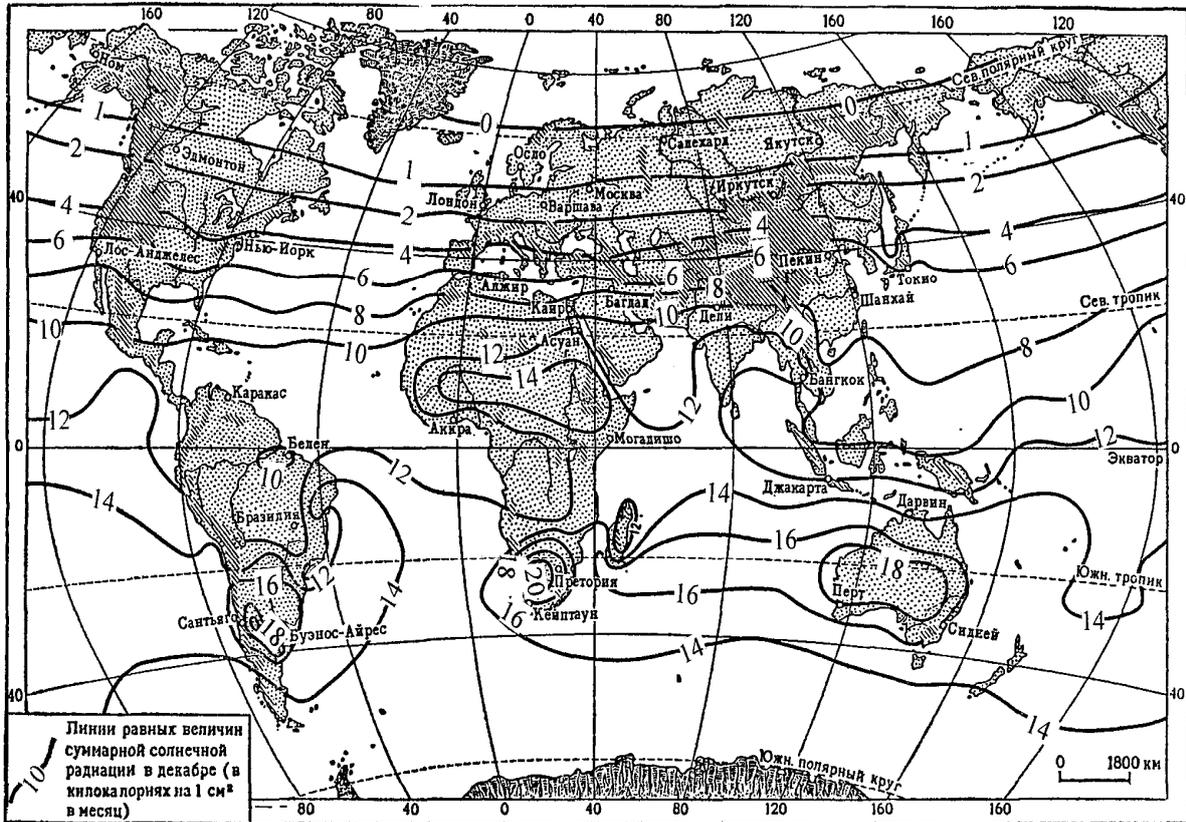


Рис. 3.3. Карта суммарной солнечной радиации в декабре

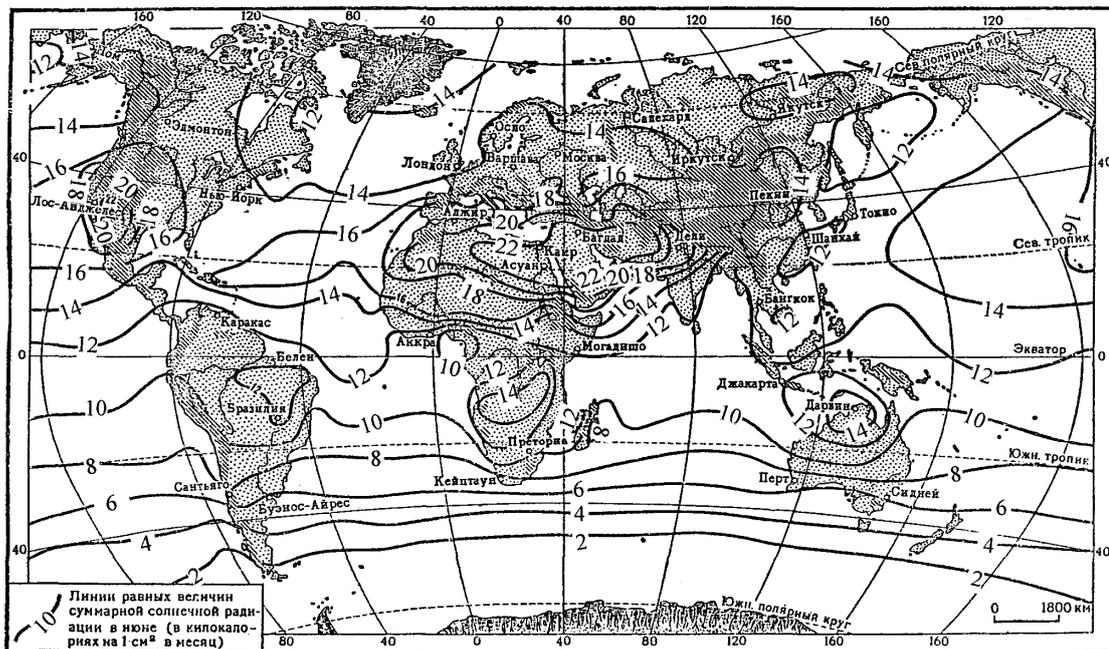


Рис. 3.4. Карта суммарной солнечной радиации в июне

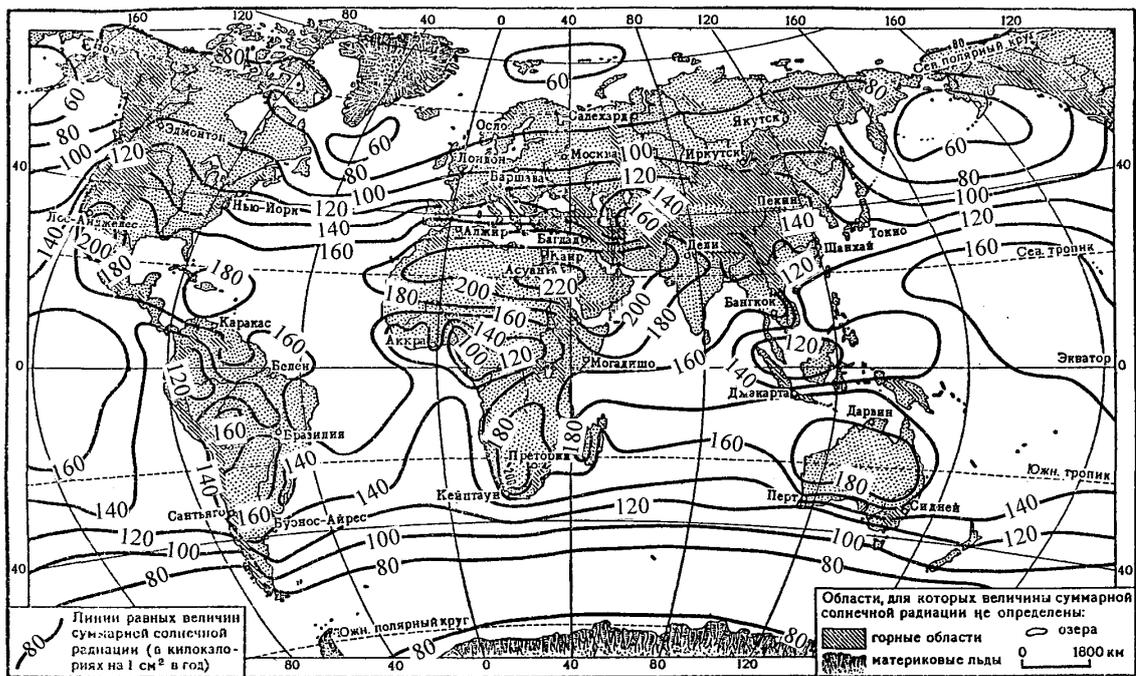


Рис. 3.5. Карта суммарной солнечной радиации в год, ккал/см²

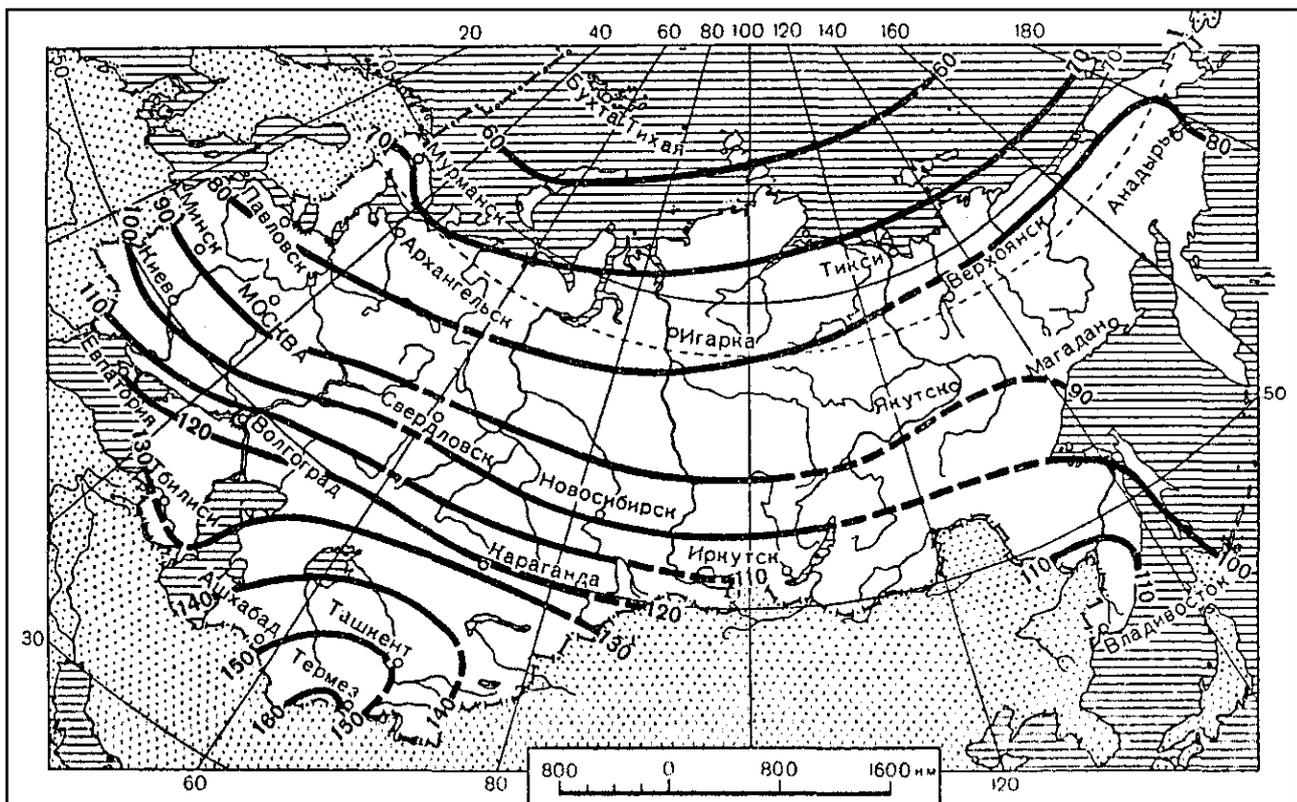


Рис. 3.6. Распределение суммарной радиации по территории СНГ за год, ккал/см

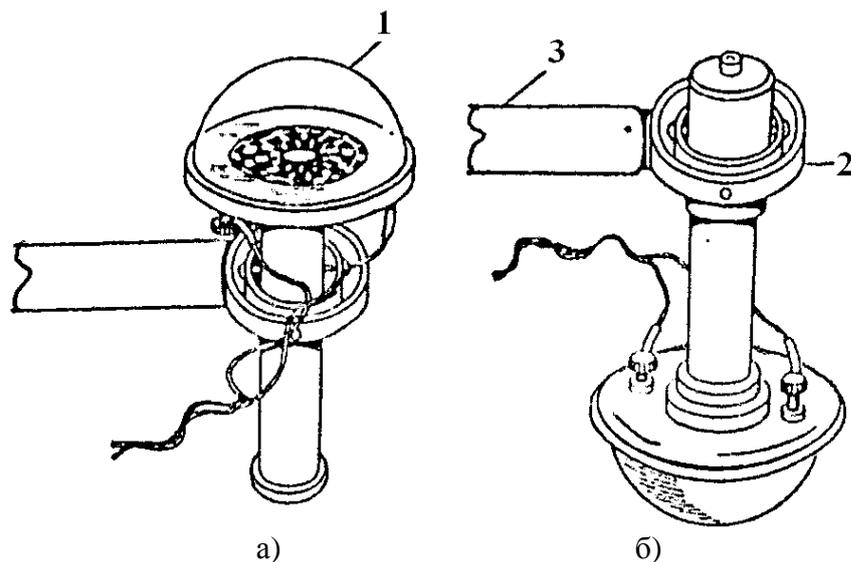


Рис. 3.7. Альбедометр термоэлектрический:
 а – положение вверх; б – положение вниз;
 1 – приемник (термоэлектрическая батарея); 2 – кардан; 3 – рукоятка

Соотношение между поглощенной и отраженной радиацией зависит от цвета поверхности, рельефа местности, влажности почвы и др. (рис. 3.8).

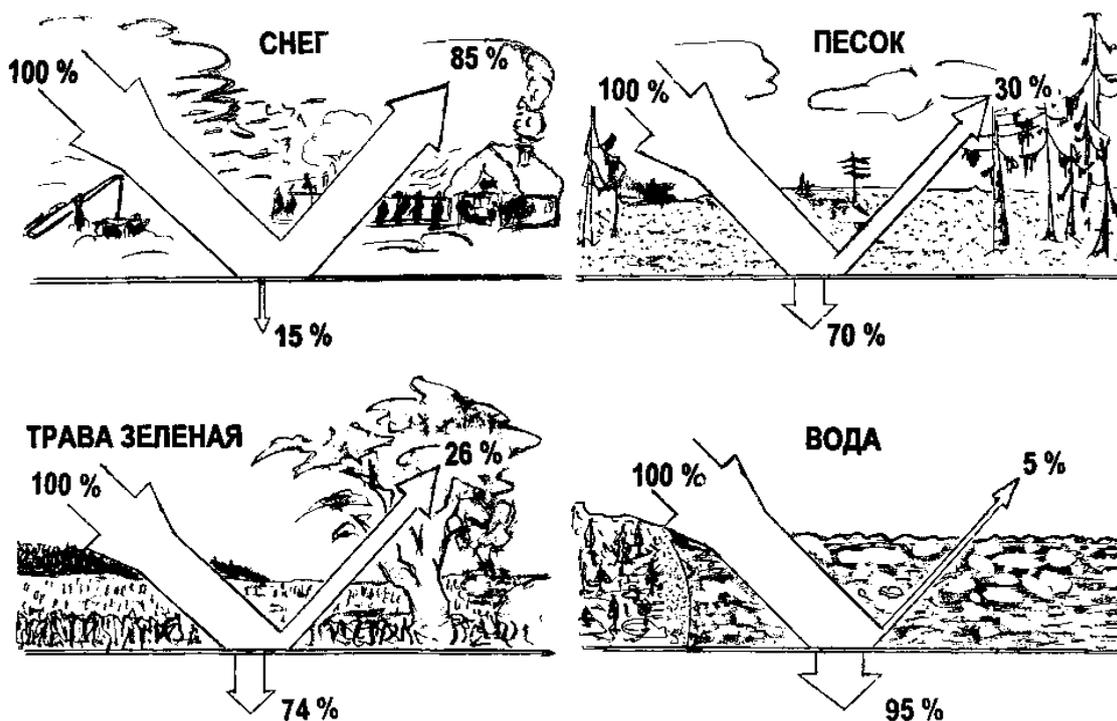


Рис. 3.8. Отражательная и поглощательная способность поверхностей

Земная поверхность и атмосфера излучают длинноволновую радиацию (4 – 100 мкм). Разница между излучением Земли и встречным излучением атмосферы называется *эффективным излучением*. Разность между поглощенной радиацией и эффективным излучением составляет *радиационный баланс*, лучистая энергия которого на земной поверхности превращается в тепло (рис. 3.9). Часть тепла передается на глубину почвы или водоема, часть – в атмосферу, на испарение воды, часть – на образование химических связей при фотосинтезе растительного покрова.

Количество поступающего на Землю тепла неодинаково в различных районах и зависит от географического положения местности (рис. 3.10).

Разница между суммарной и отраженной солнечной радиацией называется *поглощенной радиацией, или балансом коротковолновой радиации земной поверхности*:

$$B_k = Q - R, \text{ или } B_k = Q(1 - A).$$

В результате поглощения солнечной радиации поверхность земли и атмосфера нагреваются. Все тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля, поверхность земли и атмосфера также излучают радиацию, которая называется *длинноволновой, или инфракрасной*: $\lambda = 4 - 100$ мкм.

Земное излучение называется *собственным излучением земной поверхности* E и соответствует закону Стефана-Больцмана пропорционально IV степени ее температуры T :

$$E = \delta\sigma T^4,$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,65 \cdot 10^{10}$ мВт ($\text{см}^2\text{K}^4$) или $8,14 \cdot 10^{11}$ кал (см^2 мин K^4);

δ – относительная влажность данной поверхности, для черного тела $\delta = 1$; для снега $\delta = 0,98$; для сухого песка $\delta = 0,9$.

Излучение атмосферы направлено как к земле, так и в космическое пространство. Часть длинноволнового атмосферного излучения, направленная к земной поверхности, *называется встречным излучением атмосферы* E_v .

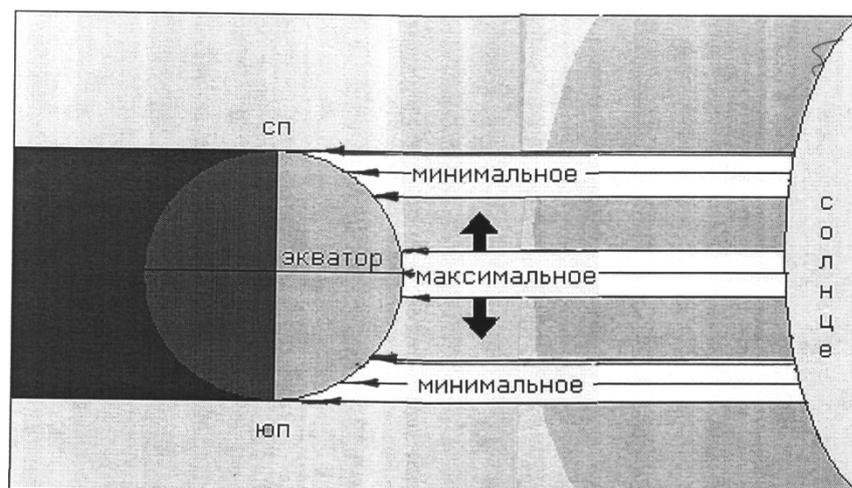


Рис. 3.10. Различия в количестве поступающего на поверхность Земли тепла в зависимости от географической широты

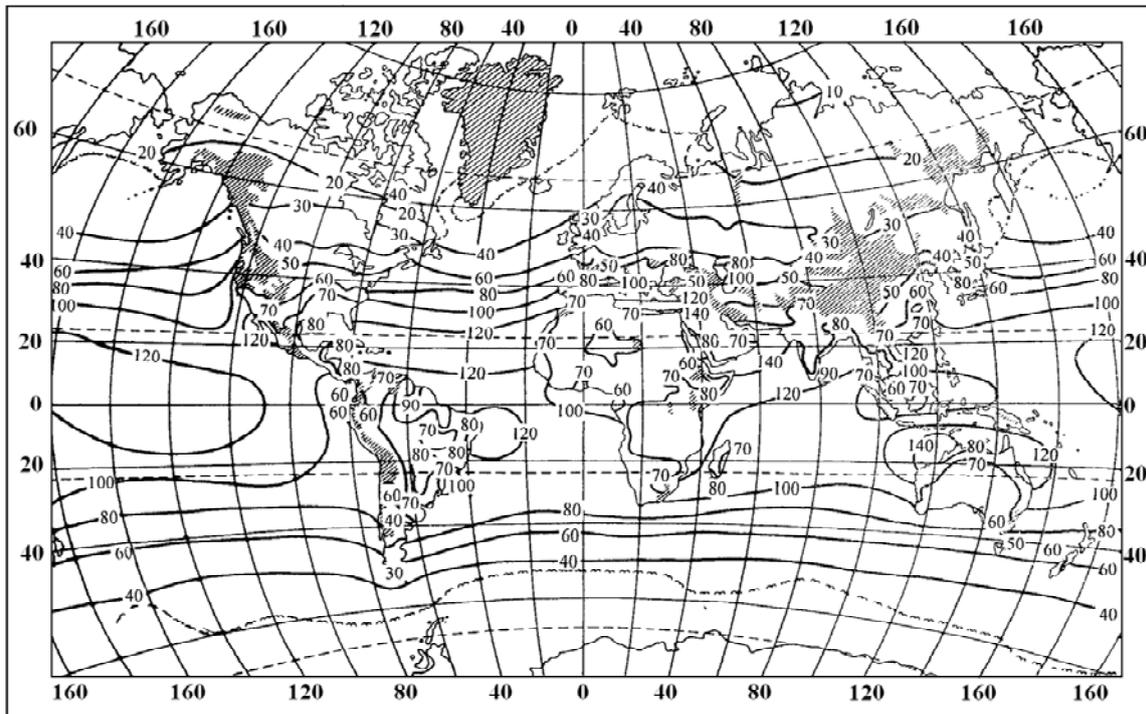


Рис. 3.9. Радиационный баланс, годовые значения в ккал/см² год

Разница между собственным излучением земной поверхности E_3 и встречным излучением атмосферы E_B называется **эффективным излучением поверхности**

$$E_{\text{эф}} = E_3 - E_B.$$

Эффективное излучение представляет собой баланс длинноволновой радиации на земной поверхности B_d . Его значение для стран СНГ приведено на рис. 3.11.

Разница между потоками, которые приходят к действующей поверхности и отходят от нее, называется **радиационным балансом земной поверхности** B . Радиационный баланс за день равен

$$B = B_k + B_d \quad \text{или} \quad B = (S \sin h + D)(1 - \alpha) - E_{\text{эф}}.$$

Таким образом, дневной радиационный баланс представляет собой разность между поглощенной радиацией (рис. 3.12) и эффективным излучением. В ночное время $Q = 0$, а следовательно, $B = B_3 = -E_{\text{эф}}$. Радиационный баланс за год представлен на рис. 3.13.

При расчете радиационного баланса кроме потери отраженной коротковолновой радиации необходимо учитывать расход радиационного тепла в результате эффективного излучения. Годовые величины эффективного излучения на земном шаре изменяются по сравнению с величинами суммарной радиации значительно меньше, что обусловлено зависимостью эффективного излучения от температуры, абсолютной влажности и их противоположным влиянием на него.

Корпускулярная радиация состоит преимущественно из протонов, которые полностью поглощаются магнитосферой Земли.

Солнечная радиация характеризуется мгновенными значениями (энергетическая освещенность, кВт/м²) и суммами за час, сутки, месяц, год (в кДж/м², МДж/м²).

На Беларуси количество суммарной солнечной радиации за год достигает 4100 МДж/м² на юге и 3500 МДж/м² на севере. Около 55 % ее приходится на рассеянную радиацию. Годовая сумма радиационного баланса составляет 1500 МДж/м² на северо-востоке и 1800 МДж/м² на юго-западе. Значения солнечной радиации для различных районов нашей страны приведены в табл. П 1.13...П 1.15.

Солнечная радиация – одна из основных движущих сил климата. От нее зависит уровень развития и интенсивность физико-географических процессов, происходящих на Земле; она служит источником энергии, которую растения используют при фотосинтезе для создания органического вещества, оказывает существенное влияние на развитие растений и т.д.

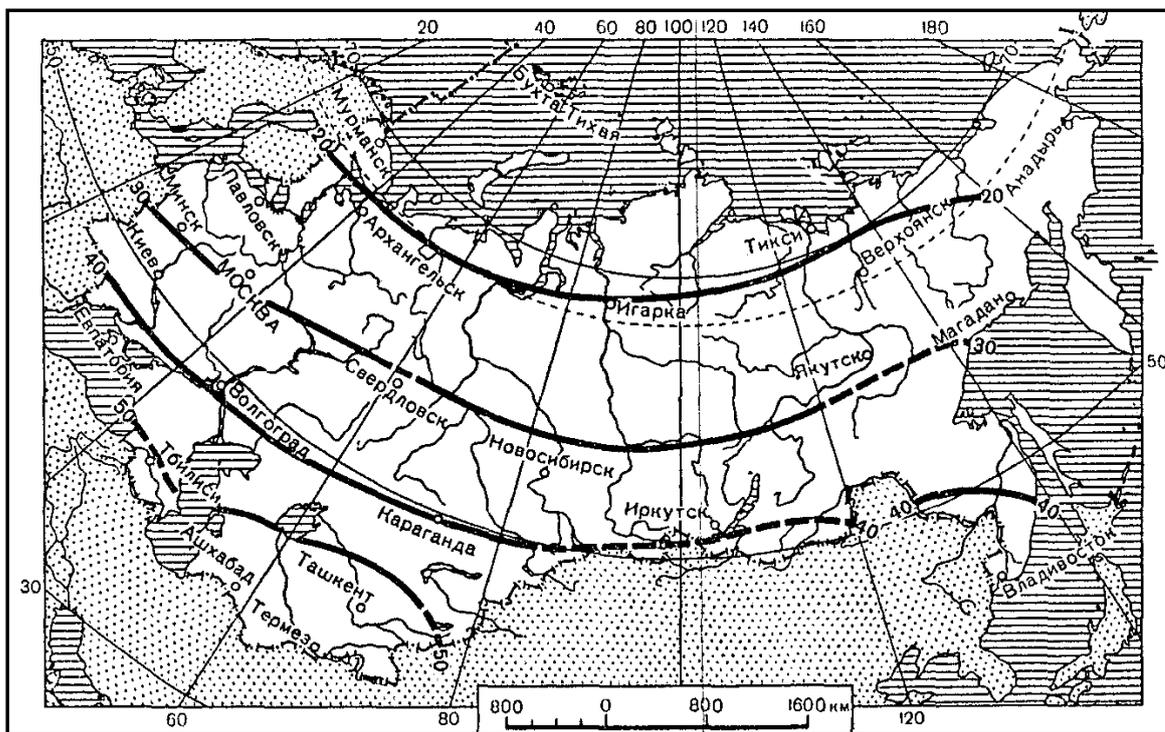


Рис. 3.11. Распределение эффективного излучения за год, ккал/см²

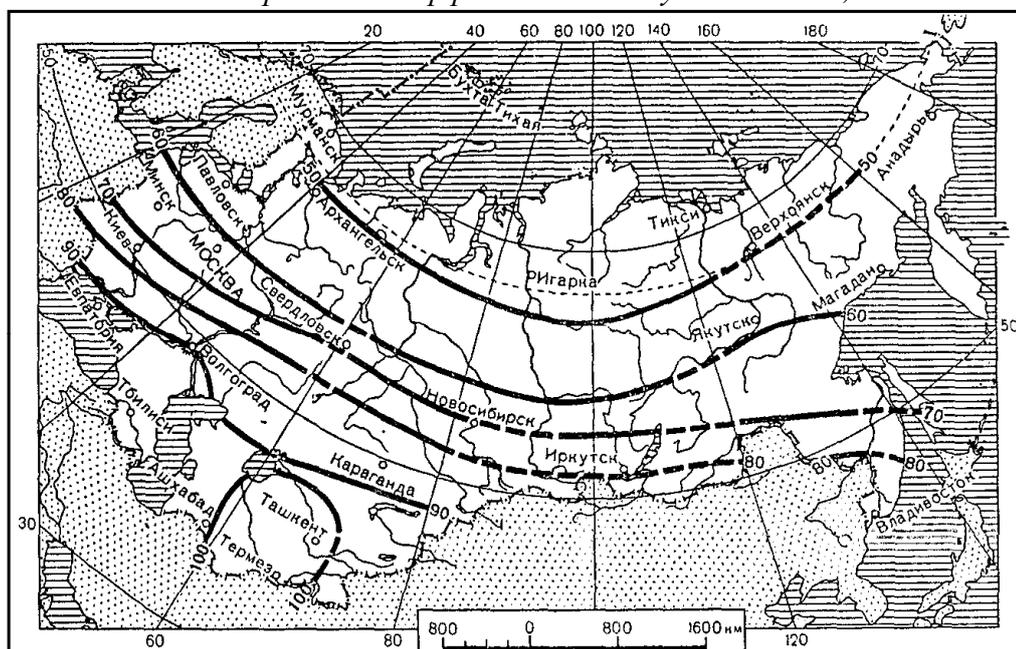


Рис. 3.12. Распределение сумм тепла поглощенной радиации за год, ккал/см²

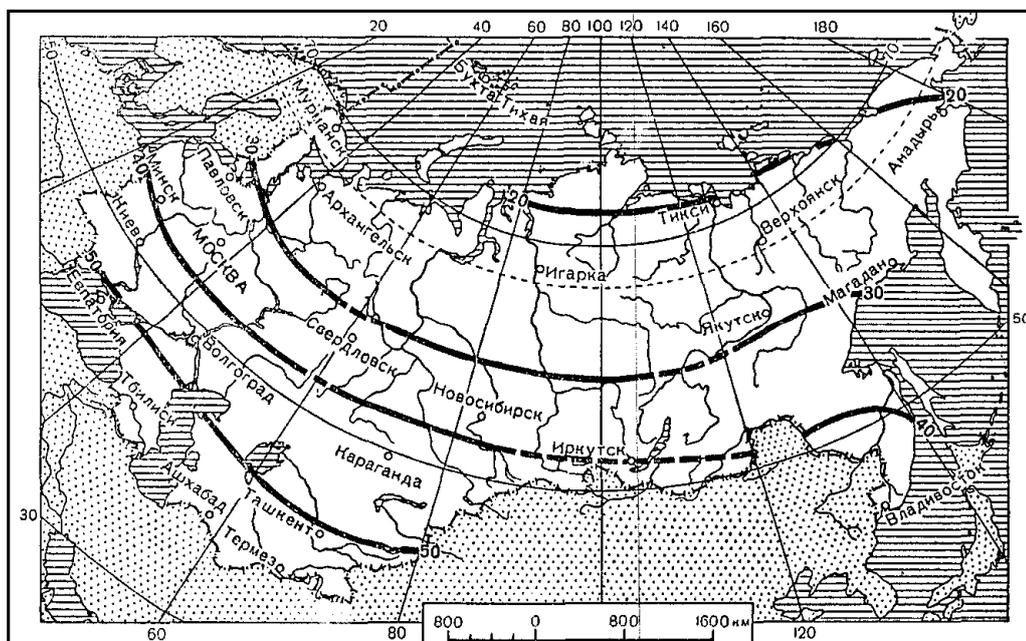


Рис. 3.13. Распределение годовых величин радиационного баланса, ккал/см²

Под воздействием солнечной радиации в воздухе усиливается молекулярное движение, изменяется атмосферное давление, создаются конвективные движения. Причиной возникновения движения воздуха являются контрасты его температуры и плотности в разных частях атмосферы. Эти соотношения не являются постоянными, так как зависят от интенсивности поглощения энергии, сезонного изменения взаимного положения Земли и Солнца, распределения суши и водоемов на земном шаре. Лучистая энергия переносится разными частями воздуха неодинаково, поглощение ее земной поверхностью зависит от альбеда каждого участка поверхности. Атмосферная и океаническая циркуляция перераспределяют получаемое тепло. Температура воздушных масс меняется также с изменением их высоты и влажности. Температура в поднимающейся неустойчивой массе воздуха понижается несмотря на то, что такая масса непосредственно не теряет тепла. Лучистая энергия поглощается и сохраняется атмосферой; благодаря этому Земля не испытывает особенно больших суточных изменений температуры. Различные составные части атмосферы обуславливают рассеяние и рефракцию проходящего через нее света.

Поступление солнечной радиации определяется положением территории Беларуси между 56 и 51° с.ш. и зависит от высоты Солнца над горизонтом в различные сезоны года, а также от продолжительности дня и солнечного сияния. Разница в высоте стояния солнца летом и зимой в полдень – около 47°, в продолжительности дня – более 10 часов. Летом на севере Беларуси день более длинный, чем на юге, но солнце стоит ниже, что несколько уменьшает различие в климатических условиях между севером и югом. Зимой, когда продолжительность дня и высота стояния солнца над горизонтом на юге больше, чем на севере, юг оказывается в более выгодных условиях.

В теплое время года (март – сентябрь) продолжительность солнечного сияния достигает примерно 1200 часов на севере и 1300 – на юге, т.е. 61–71 % годовой суммы. Остальные 29–30 % часов солнечного сияния приходятся на другие зоны, в том числе около 25 % – на весенний период.

Значительная облачность в течение всего года, особенно в холодный период, приводит к тому, что величина действительного солнечного сияния составляет 41–46 % от возможного. Наименьшая продолжительность солнечного сияния приходится на декабрь, когда она колеблется от 21 часа на севере до 33 часов на юге (10–15 % от возможной).

Среднегодовой радиационный баланс в Беларуси положительный и составляет 37–42 ккал/см², постепенно увеличиваясь в направлении с северо-востока на юго-запад. На протяжении четырех месяцев (ноябрь–февраль) в Минске и трех (ноябрь–январь) в Пинске он отрицательный. Остальные месяцы имеют положительный радиационный баланс максимум в июне-июле.

Полученная земной поверхностью тепловая энергия расходуется на испарение и теплообмен с воздухом и почвой. В среднем за год примерно 84 % радиационного баланса расходуется на испарение и 16 % – на турбулентный обмен с атмосферой. В теплое время года (апрель-сентябрь) распределение тепла несколько иное: на испарение расходуется 54 % радиационного баланса, 42 % отдается нижним слоям воздуха и лишь 4 % поступает в почву.

3.4. Измерение солнечной радиации

Для измерения уровня солнечной радиации используются различные методы, в основу которых положены действия, производимые лучистой энергией, при взаимодействии с разного рода приемниками и превращении ее в другие виды энергии. Например, при поглощении лучистой энергии Солнца какой-либо поверхностью идет переход лучистой энергии в тепловую. Регистрируя выделяющееся при этом количество тепла или повышение температуры приемной поверхности прибора, можно измерить величину падающего на приемную поверхность потока солнечной радиации.

Солнечная радиация измеряется пиранометрами, пиргелиометрами, актинометрами, соляриметрами, балансомерами и др. Некоторые из наиболее распространенных приборов для измерения солнечной радиации представлены на рис. 3.14 – 3.16.

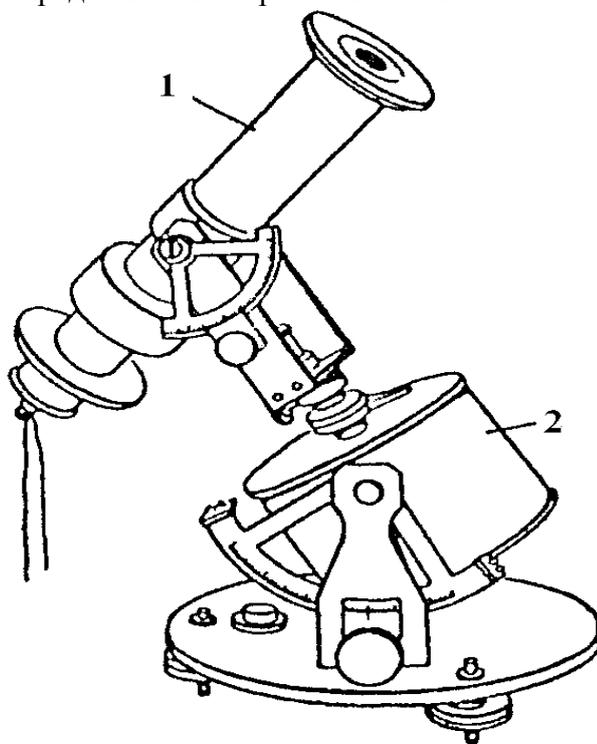


Рис. 3.14. Гелиостат с актинометром (актинограф):

1 – термоэлектрический актинометр; 2 – барабан с часовым механизмом

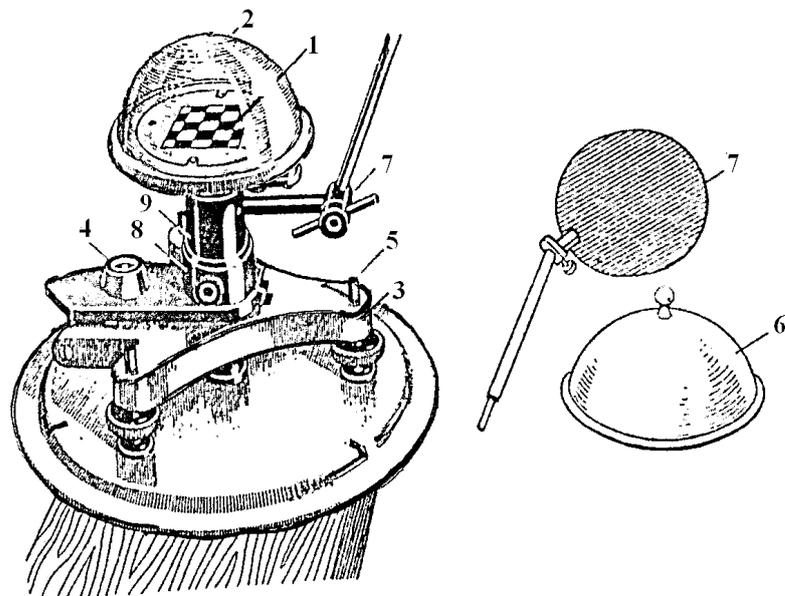


Рис. 3.15. Пирометр термоэлектрический:

*1 – термоэлектрическая батарея; 2 – стеклянный колпак; 3 – металлическая подставка;
4 – уровень; 5 – регулировочный винт; 6 – крышка; 7 – теневой экран;
8 – опорный станок; 9 – штатив*

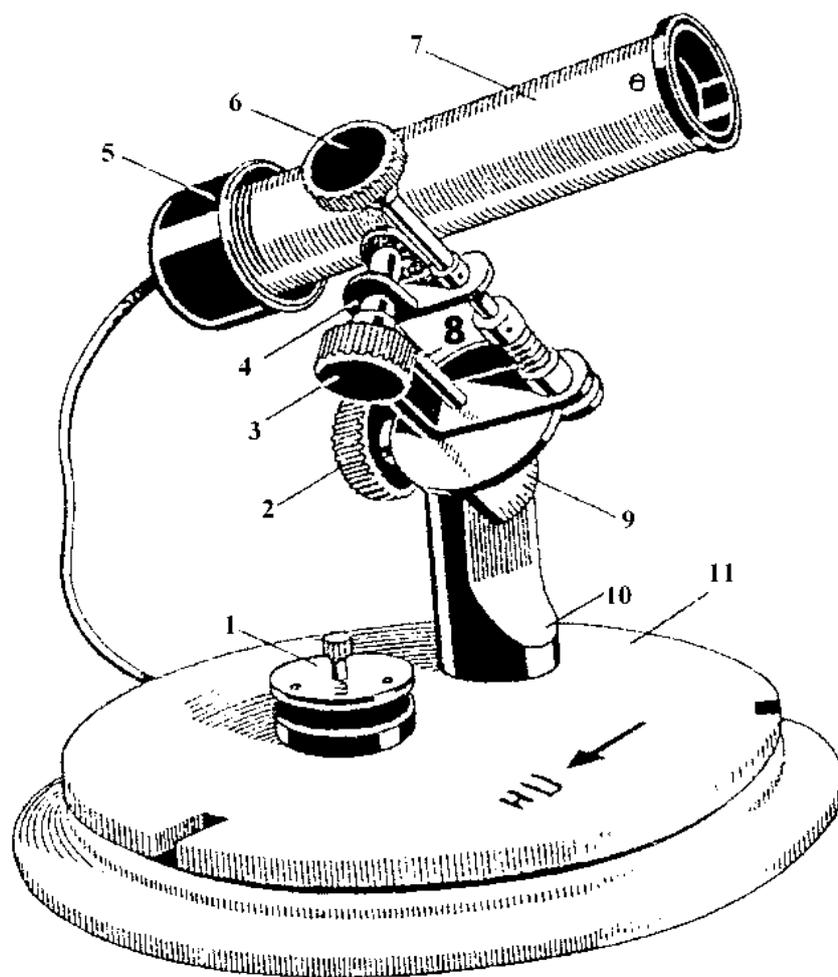


Рис. 3.16. Актинометр термоэлектрический:

1 – крышка; 2 – винт фиксации положения трубки; 3, 6 – винты регулирования положения трубки; 4 – ось положения трубки; 5 – экран; 7 – трубка; 8 – ось штатива; 9 – спектр широт; 10 – штатив; 11 – основание прибора

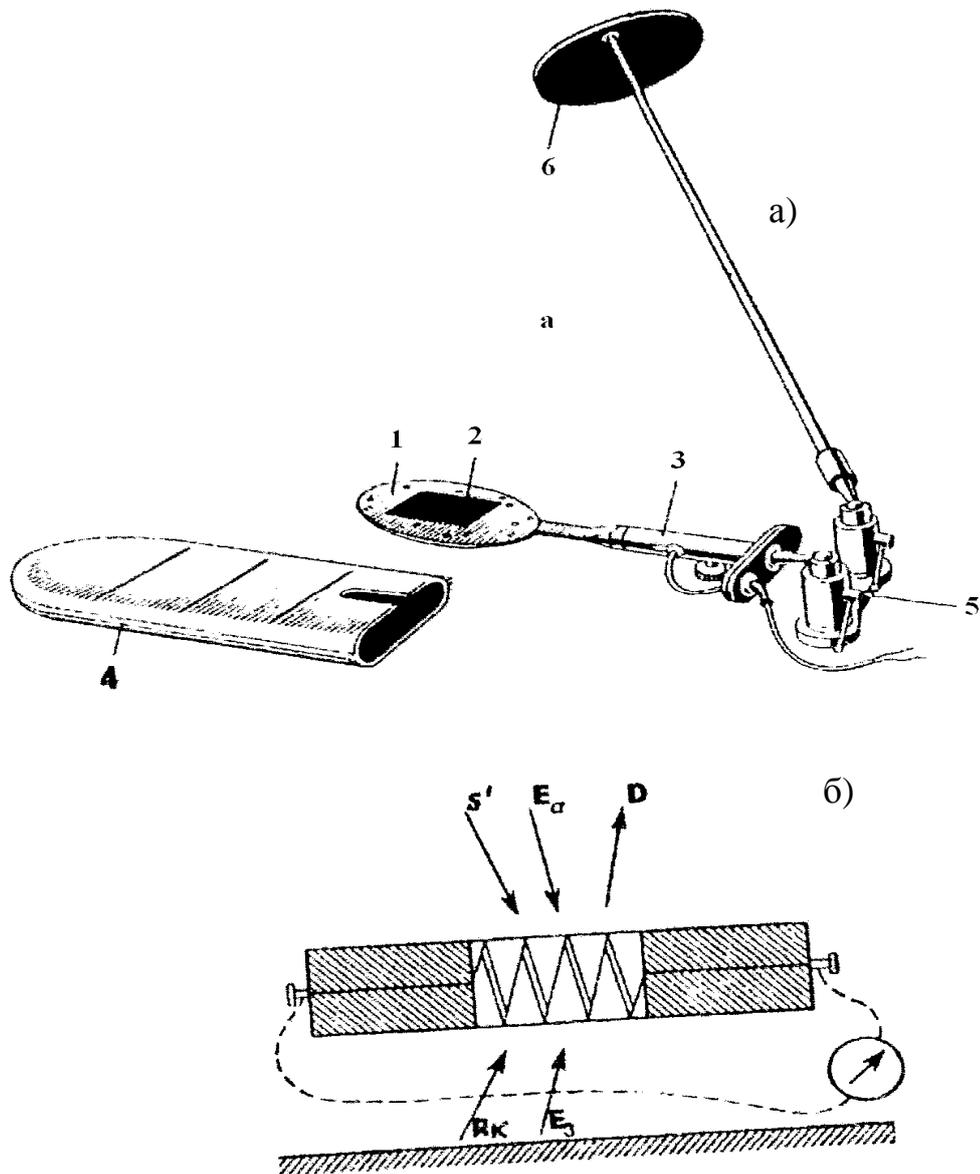


Рис. 3.17. Балансомер термоэлектрический:
 а – общий вид; б – схема

Компенсационный пиргелиометр Ангстрема (рис. 3.18) включает две тонкие полоски из манганина (1, 2). Со стороны, повернутой к Солнцу, полоски зачернены сажей и имеют коэффициент $\delta = 0,985$. На противоположной стороне полосок приклеены термоэлементы, состоящие из константана и меди. К лентам термоэлемента подключен гальванометр 3, замыкающий термоэлектрическую цепь, что дает возможность сравнивать температуру полосок. В процессе измерения прямой солнечной радиации на полоску 1 попадают солнечные лучи, а полоска 2 в это время затенена. К затененной полоске поступает ток от батареи 5, регулируемый реостатом 4 так, чтобы температура полосок была одинаковой, что определяется по нулевому значению гальванометра, свидетельствующему о полной компенсации нагревания и равенстве температур двух полосок.

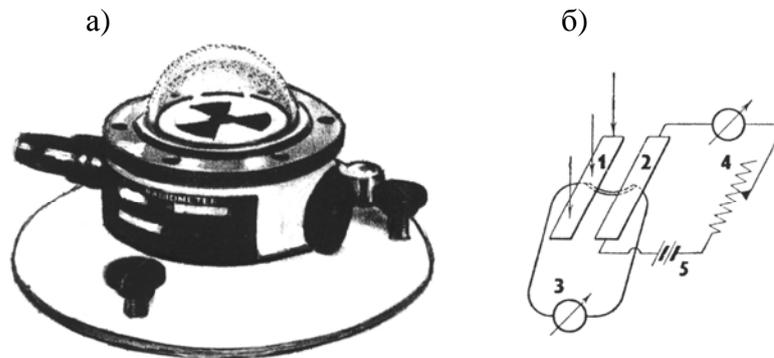


Рис. 3.18. Пиргелиометр Ангстрема:
а – общий вид; б – схема

Полоска, облучаемая солнечной радиацией, получает тепла $SEl\delta$, (кал/мин), где S – интенсивный признак радиации; δ – поглотительная способность поверхности полоски; El – площадь полоски, равная $0,4 \text{ см}^2$. Затененная и нагретая током полоска 2 получает при компенсации такую же мощность, равную $60 cr i^2$ кал/мин, где $c = 0,293$ кал/эрг; r – сопротивление полоски в омах; I – сила компенсационного тока в амперах.

При полной компенсации величина энергии на двух полосках одинакова, т.е.

$$SEl\delta = 60 cr i^2.$$

Отсюда величина интенсивности прямой солнечной радиации

$$S = \frac{60cr}{\delta bl} i^2, \text{ или } S = Ki^2,$$

где K – переводной коэффициент пиргелиометра, который устанавливается в лабораторных условиях.

При актинометрических измерениях радиационные потоки измеряются с точностью до $0,01 \text{ кВт/м}^2$, что эквивалентно $0,14 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$.

Часовая и суточная сумма лучистой энергии Солнца выражается в мегаджоулях на метр квадратный (МДж/м^2). Актинометрические измерения обеспечивают определение часовых и суточных сумм солнечной радиации с точностью до $0,01 \text{ МДж/м}^2$. Месячные суммы радиационных потоков вычисляются с точностью до целых, а числовые – до десятых МДж/м^2 . Для перехода от внесистемных единиц измерения к единицам СИ учитываются зависимости:

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ кал/см}^2 = 697,8 \text{ Вт/м}^2;$$

$$1 \text{ Вт/м}^2 = 1 \text{ Дж/с м}^2;$$

$$1 \text{ кал/см}^2 = 41,9 \text{ МДж/м}^2.$$

04. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

4.1. Физическая сущность испарения

Важную роль в формировании климата и развитии различных атмосферных явлений играет вода. Она занимает около 71 % земной поверхности, а ее запасы составляют свыше $1,4 \cdot 10^8 \text{ км}^3$. Вода находится в постоянном круговороте, связывая воедино все части гидросферы, и обеспечивает взаимодействие гидросферы с литосферой, атмосферой и биосферой. В атмосферу вода поступает в результате испарения с поверхности водоемов, выделяется живыми организмами при процессах дыхания и обмена веществ; наконец, она является побочным продуктом вулканической деятельности, промышленного производства и окисления различных веществ.

Вода в природе находится в постоянном круговороте. При этом огромное значение имеют процессы испарения воды и конденсации пара (рис. 4.1).

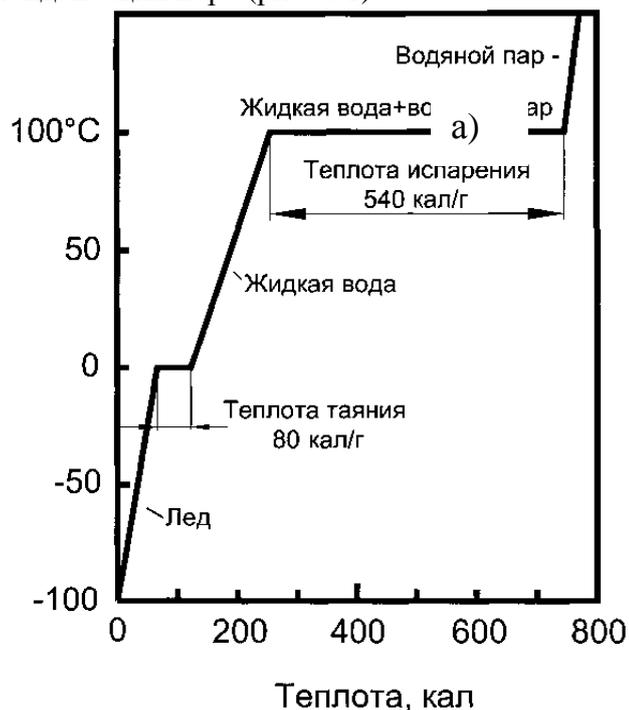


Рис. 4.1. Фазовые переходы воды:
а – температурно-тепловые процессы; *б* – переходы состояний

Испарение – это переход воды или другого вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное (пар). Оно объясняется вылетом из поверхностного слоя жидкости молекул, обладающих наибольшей скоростью и кинетической энергией, так что в результате испарения жидкость охлаждается. Различают испарение **физическое** (с поверхности воды, снега, льда или почвы) и **биологическое** (транспирация). Физическое испарение жидкости происходит в результате теплового движения ее молекул при температуре ниже точки кипения (100 °С). Скорость испарения, т.е. количество жидкости, переходящей в пар за 1 с, зависит от внешнего давления и движения газообразной фазы над свободной поверхностью жидкости. Испарение твердых тел называется **сублимацией**. Этот процесс предусматривает переход вещества (например, льда) из твердого состояния непосредственно (без плавления) в газообразное.

На испарение 1 г воды при температуре 100 °С расходуется 540 кал, а для таяния льда затрачивается около 80 кал/г тепла. В различных районах Земли вода совершает фазовое превращение с разной интенсивностью, что приводит к неравномерному выпадению осадков по Земному шару. Ежегодно с поверхности Земли испаряется 525 тыс. км³ воды, а атмосферный пар конденсируется и в виде осадков возвращается на Землю.

На территории Беларуси испарение с открытой поверхности суши составляет около 475-575 мм, с водной поверхности (без ледоставного периода) – 520-700 мм (всего около 112 км³ воды).

Транспирация – это испарение воды растительностью. Ее интенсивность определяется количеством воды в граммах, которое теряется растением с единицы поверхности (1 см², 1 м² или 1 г сырой массы за час), и зависит от освещенности, температуры и влажности воздуха, скорости ветра, количества воды в растении.

Для измерения величины испарения используются приспособления и устройства, действующие на принципах определения объема или массы испарившейся из сосуда воды, изменения концентрации соли в сосуде, изменения веса монолитного образца почвы и др.

Испарение с поверхности воды измеряется водными измерителями (плавучие испарительные бассейны и др.), с поверхности почвы – почвенными (весовые, гидравлические и др.), с поверхности болот – болотными.

4.2. Конденсация водяного пара

Водяной пар, находящийся в атмосфере, при снижении температуры воздуха, атмосферного давления и наличии ядер конденсации переходит в жидкое или твердое состояние, – образуются водяные капли или кристаллы льда, которые в совокупности приводят к возникновению облаков, тумана или дымки. Происходит **конденсация водяного пара** на наземных предметах, которая приводит к образованию пленок воды или слоя льда. Наличие ядер конденсации (капель воды, кристаллов льда, пылинок и др.) способствует переходу пара в твердое или жидкое состояние.

Процесс конденсации водяного пара происходит в результате его адиабатического подъема в атмосфере и теплообмена в земной поверхности.

5. ОБЛАЧНОСТЬ

5.1. Образование облаков

Под **облачностью** подразумевается степень закрытия небосвода облаками. Облака являются важной составной частью кругооборота воды в природе. Необходимыми условиями для образования облаков является насыщение водяных паров до состояния конденсации (превращения пара в воду) или сублимации (превращения пара в ледяные кристаллы, минуя жидкую фазу) и понижение температуры воздуха до критической – ниже точки росы. Кроме того, в воздухе должны находиться ядра конденсации (или сублимации), на которых начинает осаждаться вода или лед. Ядрами конденсации в морских акваториях могут быть частицы соли, попавшие в воздух вместе с водной пылью и брызгами во время штормов, на суше – микроскопические частицы пыли и дыма. Состояние насыщения чаще всего наступает в результате снижения температуры воздуха.

Причиной снижения температуры воздуха, вызывающего конденсацию, бывают, прежде всего, адиабатические процессы, связанные с вертикальным перемещением воздуха. Адиабатическое охлаждение воздуха обычно обусловлено следующими атмосферными явлениями:

- 1) конвективными потоками внутри однородной воздушной массы;
- 2) восходящим скоплением теплого воздуха на наклонной фронтальной поверхности, разделяющей две воздушные массы с различными физическими свойствами;
- 3) волновыми движениями, возникающими на поверхности раздела двух различных по физическим свойствам слоев воздуха;
- 4) турбулентными процессами, происходящими в атмосфере.

Облакообразованию способствуют также неадиабатические процессы, к которым относятся, главным образом, фазовые переходы воды, радиационные изменения температуры воздуха, адвекция теплого и влажного воздуха, который охлаждается от более холодной подстилающей поверхности.

Облака чаще всего возникают в результате одновременного воздействия нескольких процессов и явлений. На рис. 5.1 изображена облачность в зоне холодного фронта; на рис. 5.2 – облачность фронта окклюзии.

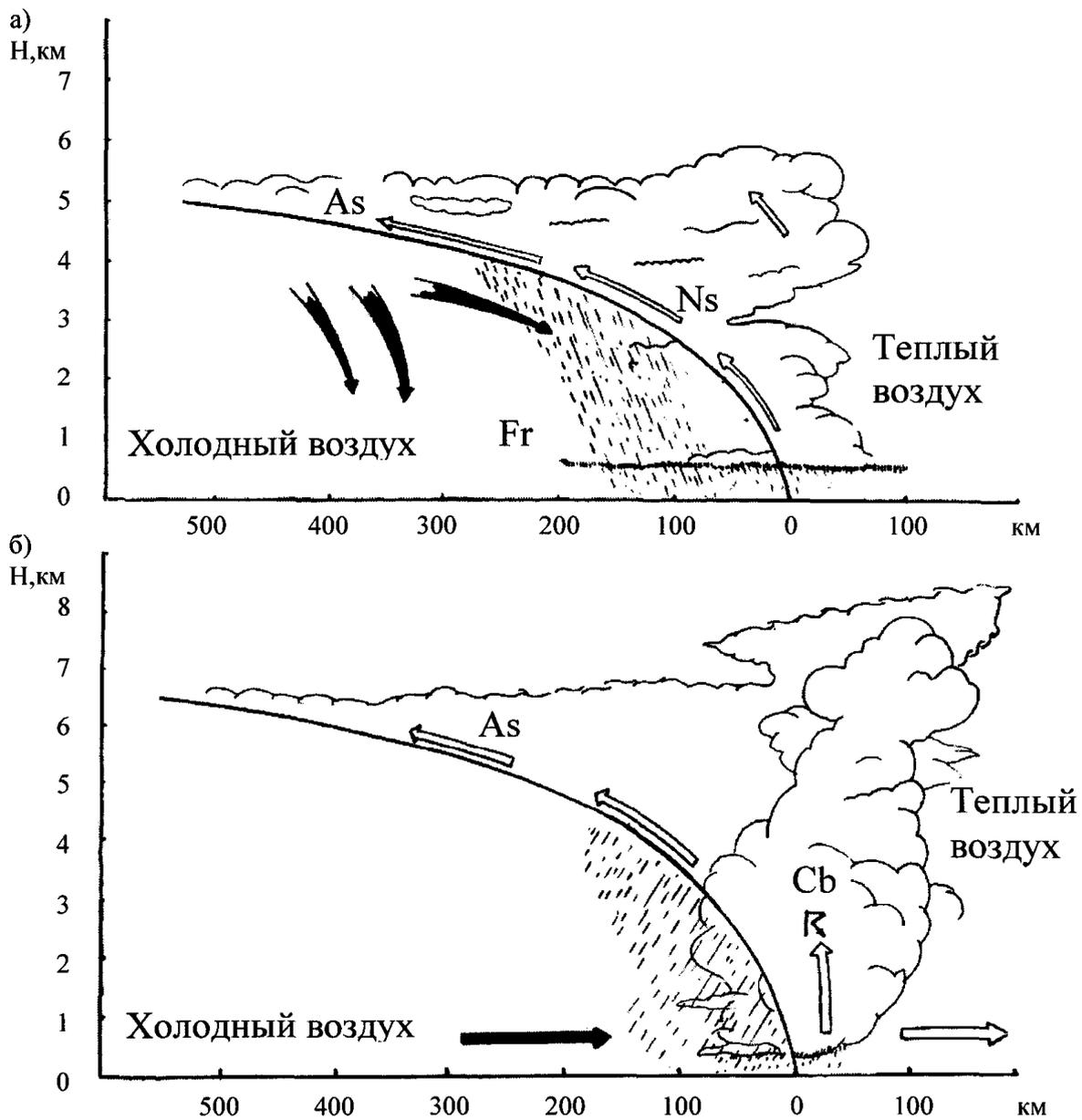


Рис. 5.1. Облачность холодного фронта I рода:
 а – зимой; б – летом (As – облака волнистые; Ns – слоисто-дождевые;
 Cb – кучево-дождевые; Fr – фронт)

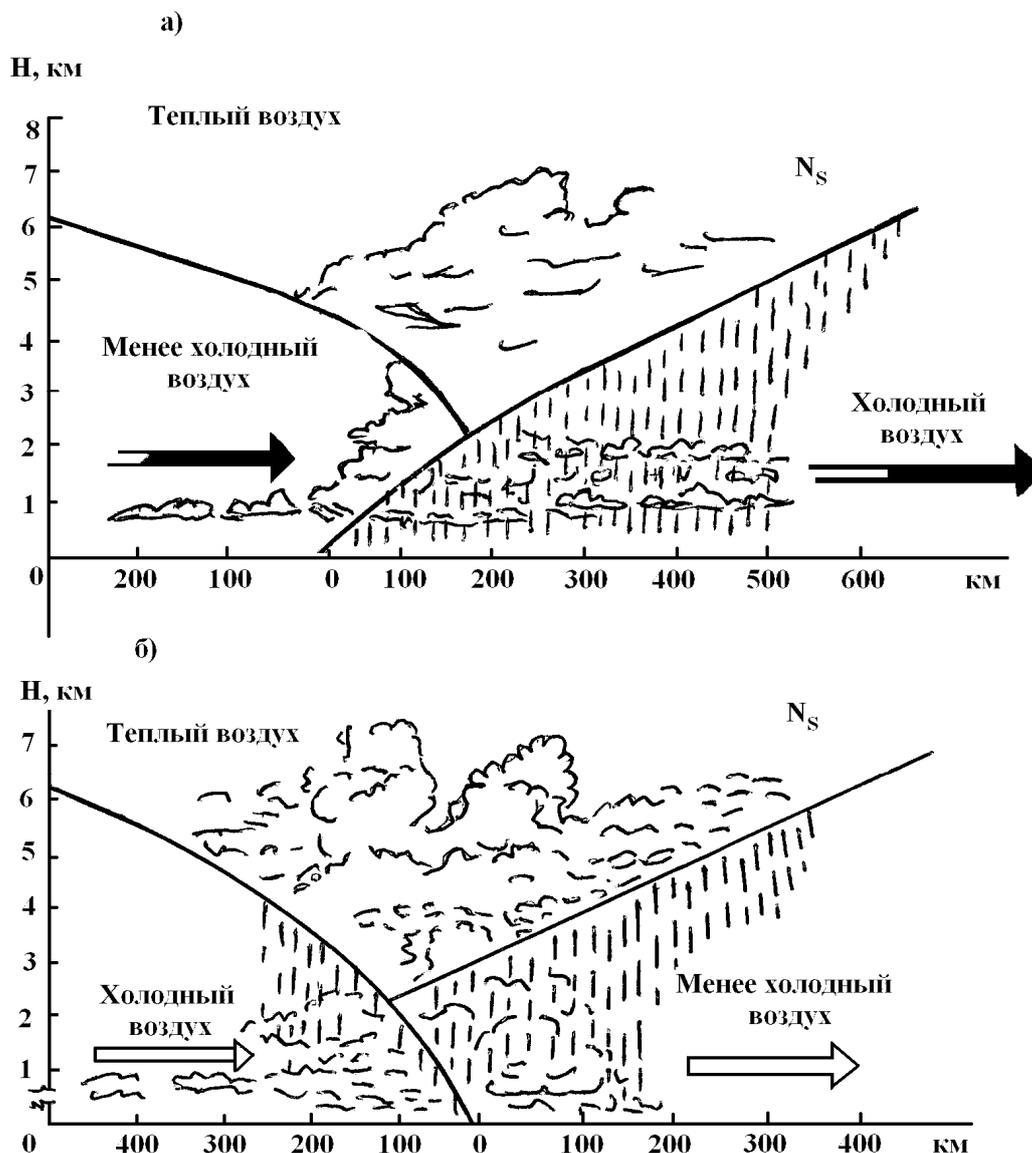


Рис. 5.2. Облачность фронта окклюзии:
а – теплого; б – холодного

Следует иметь в виду, что облака непрерывно эволюционируют. В процессе эволюции происходит изменение их морфологических черт, преобразование в другие формы, виды и разновидности.

5.2. Классификация облаков

Воздух в атмосфере охлаждается двумя способами: адвекцией над более холодной сушей или морской поверхностью либо в результате расширения при подъеме на большую высоту. Первый путь ведет к формированию низкого слоя облаков, второй – высокого, или т.н. “кучи”. Облака нижних ярусов – слоистые, что характерно для атмосферных фронтов, в которых стабильный воздух настигает более холодные и плотные массы “кучи”. Облака существуют до тех пор, пока скорость конденсации равна или выше скорости испарения водяных капель на их краях.

Классификация облаков осуществляется в соответствии с международной системой. В основу принятой международной классификации облаков положены 2 признака: высота расположения облаков и их внешний вид.

В зависимости от высоты положения облака делятся на 3 яруса (табл. 5.1):

- 1) **облака верхнего яруса** – выше 6000 м;
- 2) **облака среднего яруса**: нижняя граница лежит между 2000 и 6000 м;

3) **облака нижнего яруса:** нижняя граница находится ниже 2000 м и может достигать поверхности земли.

Для разных географических областей высоты ярусов имеют некоторые различия (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Высоты границ ярусов облаков по областям

Ярус	Полярные области	Умеренные области	Тропические области
Верхний	от 3 до 8 км	от 5 до 13 км	от 6 до 18 км
Средний	от 2 до 4 км	от 2 до 7 км	от 2 до 8 км
Нижний	от поверхности земли до 2 км	от поверхности земли до 2 км	от поверхности земли до 2 км

В особую группу выделяются **облака вертикального развития**, которые имеют большую мощность и могут распространяться на ярусы. Имеются и некоторые другие типы облаков.

По внешнему виду выделяются следующие типы облаков:

- 1) **перистые (cirrus);**
- 2) **кучевые (cumulus);**
- 3) **слоистые (stratus);**
- 4) **дождевые (nimbus).**

Первые три группы различаются по высоте расположения над землей. Здесь можно выделить облака верхнего, среднего, нижнего яруса и облака вертикального развития, которые относятся к четвертой группе и дополнительно включают в себя целый ряд смешанных типов облаков.

Смешанный тип включает облака:

- 1) **высокие (altus);**
- 2) **низкие (humilis);**
- 3) **плотные (opacus);**
- 4) **просвечивающие (translucidus);**
- 5) **разорванные (fractus).**

Все эти типы облаков, в свою очередь, имеют ряд разновидностей.

Типы облаков лучше всего рассматривать на примере фронтального циклона в умеренных широтах.

Здесь формируются все основные виды облачности. На рис. 5.3 изображен общий вид циклона в северном полушарии (вид с юга), который движется с запада на восток (слева направо).

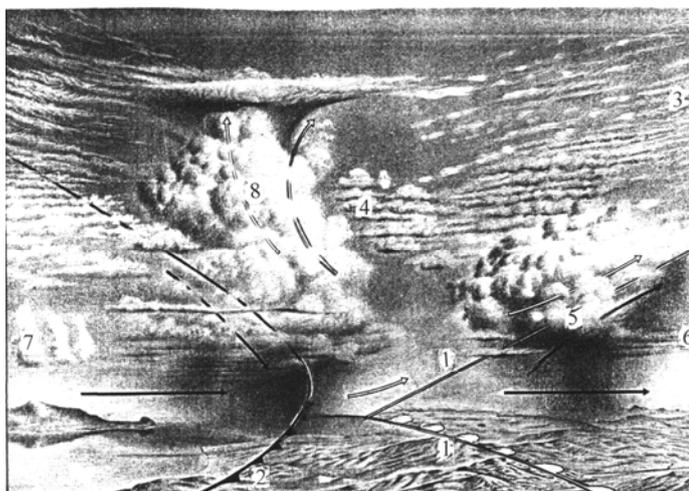


Рис. 5.3. Общий вид облаков в зоне фронтального циклона:

1 – теплый фронт; 2 – холодный фронт; 3 – перистые облака, 4 – высококучевые;
5 – слоисто-дождевые; 6 – слоисто-дождевые перед поверхностью теплого фронта; 7 –
кучевые; 8 – кучево-дождевые

Циклон находится в зрелом состоянии, перед стадией окклюзии; отчетливо видны теплый 1 и холодный 2 фронты. Над теплым фронтом, уклон которого может составлять от 1/100 до 1/350, вся масса воздуха медленно поднимается на значительную высоту. В результате образуется полный набор облаков – от перистых 3 и высококучевых 4 до слоисто-дождевых 5. С этими видами облаков часто связаны осадки, особенно со слоисто-дождевыми 6, которые обычно располагаются перед поверхностью теплого фронта параллельно ему. Образуются вихри, вместе с которыми поднимаются облака, что вызывает сильные конвективные дожди или классические морозящие осадки теплого фронта, охватывающие большие пространства.

В теплом секторе обычно расположены слоистые облака. Заметные изменения происходят и на холодном фронте. Ветер здесь меняет направление, отклоняясь по часовой стрелке, а позади фронта в холодном воздухе нередко образуются кучевые облака 7. На самом фронте атмосфера обычно очень неустойчива, и кучевые облака перерастают здесь в кучево-дождевые 8. Вся область низкого давления обычно покрыта пологом из перистых облаков всех типов; нередко они сочетаются с кучевыми облаками, имеющими форму наковальни. Если следить за прохождением фронтов с земной поверхности, можно четко установить, что изменение облачности сопровождается изменениями давления, ветра, температуры и влажности.

5.3. Облака верхнего яруса

Обычно облака верхнего яруса – очень тонкие и белые. Конечно, когда Солнце расположено низко над горизонтом, они могут быть окрашены в темные тона. Эти облака состоят преимущественно из кристаллов льда, и поэтому в зависимости от широты наблюдения формируются на различных высотах: в умеренных широтах – выше 5 км, в полярных – выше 3 км, в тропических – выше 6 км. К облакам верхнего яруса относятся перистые, перисто-слоистые и перисто-кучевые облака.

I. Перистые облака (*Cirrus, Ci.*) (рис. 5.4) – это отдельные белые волокнистые облака, обычно очень тонкие и прерывистые, иногда – с более плотными частями. Их высота в умеренных широтах достигает 7 – 10 км, в тропиках – 17 – 18 км.

Перистые облака состоят из кристаллов льда, которые возникают из переохлажденных капелек воды, и отличаются большой протяженностью и тем, что не заполняют все небо, обладая характерной прерывистой структурой. Чаще всего эти облака наблюдаются при хорошей погоде и наличии восходящего потока воздуха при наступлении теплого фронта.

Перистые облака подразделяются на следующие виды:

1). *Волокнистые, или нитеподобные (Cirrus fibratus, Ci fib.)*, имеющие вид параллельных или перепутанных волокон. Их разновидности:

1) когтеподобные (*Cirrus uncinus, Ci unc.*), у которых концы нитей утолщены и загнуты вверх;

2) хребтоподобные (*Cirrus vertebratus, Ci vert.*) – с более плотной средней полосой, от которой волокна расходятся в обе стороны;

3) перепутанные (*Cirrus libratus intortus, Ci int.*) – с бессистемно перепутанными нитями в виде клубков или пятен, разбросанных по небу.

2). *Плотные (Cirrus spissatus, Ci spi.)*, включающие многочисленные соединения неправильной формы, что существенно нарушает волокнистую структуру. Их разновидности:

1) грозовые (*Cirrus incus-genitus, Ci ing.*), которые являются остатками вершин распадающихся кучево-дождевых облаков;

2) комкоподобные (*Cirrus floccus, Ci fl.*), имеющие вид белых комков, разбросанных на пространстве волокон перистых облаков.

Перистые облака образуются под слоем тропопаузы. Обычно они являются частью облачной системы теплого и холодного фронтов, а также циклонов, которые формируются.



а)



б)



в)

*Рис. 5.4. Перистые облака:
а – перисто-волокнистые; б – перисто-когтевидные; в – перистые плотные*

2. Перисто-кучевые облака (*Cirrocumulus, Cc.*) (рис. 5.5) – это белые тонкие облака, состоящие из мелких волн, комков или ряби и образующие слои или параллельные гряды с последовательным переходом в покрытие *Ci* или *Cs*. Эти облака напоминают мелкие "барашки", иногда похожие на рыбью чешую, имеют вид пелены или полос, состоящих из мелких белых элементов с четкими контурами, расположенных равномерно. Могут наблюдаться вместе с перистыми облаками. Перисто-кучевые облака малоустойчивые: быстро появляются, видоизменяются и исчезают. Они образуются в условиях волнового или конвективного движения воздуха и тоже состоят из ледяных кристаллов. Осадки из них не выпадают.



Рис. 5.5. Перисто-кучевые хлопковидные облака

Особый вид таких облаков – *волновые облака* (*Cirrocumulus undulatus*, *Cc und.*), которые выглядят как волны или мелкая рябь.

Разновидности перисто-кучевых облаков:

1) *линзоподобные* (*Cirrocumulus lenticularis*, *Cc lent.*) – вытянутые с гладкой поверхностью отдельные волокна, в которых кое-где просматривается волокнистая структура;

2) *кучеподобные* (*Cirrocumulus cumuliformis*, *Cc cuf.*) – мелкие башни или комки, которые кверху увеличиваются;

3) *комкоподобные* (*Cirrocumulus flocus*, *Cc floc.*) – тонкие белые полупрозрачные образования, разбросанные на небе комки;

4) *башенковидные* (*Castellanus Cast.*), каждый элемент которых – маленькая вертикально развитая башня с относительно четким горизонтальным основанием;

5) *слоистообразные* (*Stratiformis St.*) – длинные тонкие слои с включением зернистых элементов, характерных для облаков этого рода (они называются также чечевицеобразными, если гряда облаков имеет миндалевидную или чечевицеобразную форму);

6) *дырявые* (*Lacunosus Ln.*), усеянные равномерными отверстиями, похожие на решето или сито.

Перисто-кучевые облака образуются в результате воздушных волн или конвективных ячеек, возникающих в верхней тропосфере, несколько ниже тропопаузы.

3. Перисто-слоистые облака (*Cirrostratus*, *Cs.*) (рис. 5.6) – это тонкая, белая или немного голубоватая пелена, которая имеет однородную или слегка волнистую структуру, может застлать все небо.



Рис. 5.6. Круги гало на фоне перисто-слоистых облаков

Эти облака образуются в результате адиабатического охлаждения воздуха при его восходящем движении на атмосферный фронт.

Перисто-слоистые облака подразделяются на следующие виды:

1) *волокнистые* (*Cirrostratus fibratus*, *Cs fib.*) – пелена немного волокнистой структуры;

2) *туманоподобные* – (*Cirrostratus nebulosus*, *Cs neb.*) – однородная белая или голубоватая пелена.

Условия образования этих облаков физически подобны условиям образования перистых, но перисто-слоистые облака чаще связаны с теплым фронтом, чем с холодным.

5.4. Облака среднего яруса

Все облака среднего яруса имеют смешанную структуру из смеси капелек с ледяными кристаллами. Такие облака обычно встречаются на высотах 2-7 км для умеренных широт, 2-4 км – для полярных и 2-8 км – для тропических. Поскольку их высоты небольшие, они преимущественно состоят из капелек воды, но зимой в наших широтах содержат кристаллики льда. Осадки, выпадающие из них летом, поверхности земли не достигают.

К облакам среднего яруса относятся высококучевые и высокослоистые облака.

1. Высококучевые облака (*Altostratus*, Ac.) (рис. 5.7) имеют белый или черный цвет, в некоторых случаях – с синеватым оттенком, встречаются в виде волн или гряд с просветами голубого неба. Иногда представляют собой почти сплошной облачный покров. Нижняя граница этих облаков может находиться на высоте от 2 до 6 км, а их толщина может быть от 0,2 до 0,7 км. В отличие от перисто-кучевых облаков, относящихся к облакам верхнего уровня, они могут иметь затененные части, и, как правило, состоят из водяных капелек. Высококучевые облака обычно возникают в результате поднятия теплых воздушных масс, а также при наступлении холодного фронта, который вытесняет теплый воздух вверх. Поэтому наличие высококучевых облаков теплым и влажным летним утром часто предвещает скорое появление грозных облаков или перемену погоды.

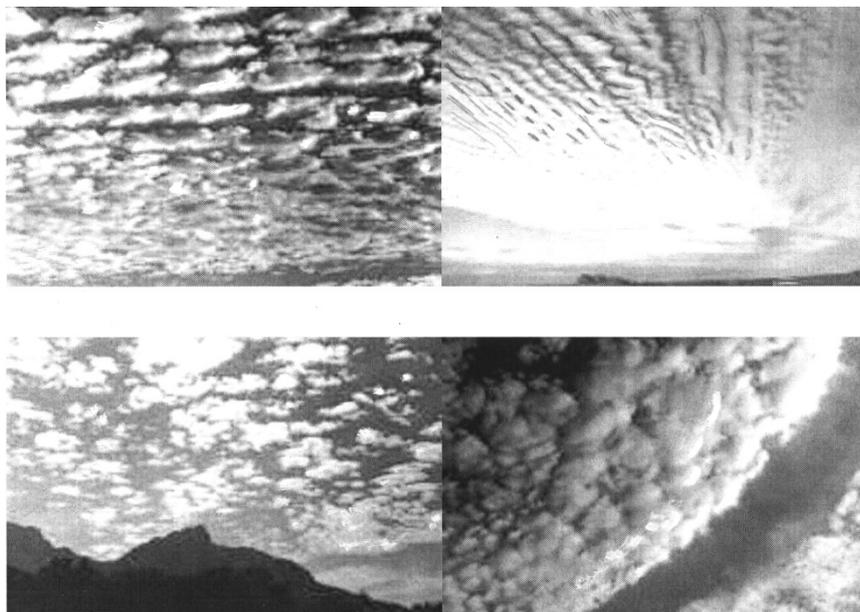


Рис. 5.7. Различные структуры высококучевых облаков

Осадки выпадают из таких облаков весьма редко и только в виде отдельных капель дождя или снежинок.

Высококучевые облака подразделяются на два вида:

1). *Волнистые* (*Altostratus undulatus*, Ac und.), которые размещаются на небосклоне рядами или грядами. Их разновидности:

1) просвеченные (*Altostratus translucidus*, Ac trans.), состоящие из отчетливо очерченных элементов (волн, пластин), между которыми имеются просветы, позволяющие видеть голубое небо или небесные светила;

2) непросвеченные плотные (*Altostratus opacus*, Ac op.), представляющие собой почти сплошное покрывало, на нижней поверхности которого выразительно выделяются более темные волны или гряды;

3) линзоподобные (*Altostratus lenticularis*, Ac lent.) – отдельные более плотные облака линзоподобной формы с выразительным или волокнистым абрисом;

4) неоднородные (*Altostratus inhomogenus*, Ac inh.), только в отдельных местах имеющие волнистое строение.

2). *Кучевоподобные* (*Altostratus cumuliformis*, Ac cuf.), встречающиеся обособленно, а иногда – в виде сплошной массы с признаками вертикального развития. Их разновидности:

1) комкоподобные (*Altostratus floccus*, Ac floc.) – разорванные по краям бесформенные комки, относительно быстро изменяющие свои контуры;

2) башнеподобные (*Altostratus castellanus*, Ac cast.) – в виде гряды облаков, от которых вверх отходят белые кучевоподобные купола или башни; иногда они напоминают небольшие облака Cu и Cb;

3) кривоподобные, образованные от кучевых облаков (*Alto cumulus cumulogenitus*, *Ac cig.*) – в виде белого покрова, который образуется от кучевых или кучево-дождевых облаков, вершины которых растекаются в середине яруса;

4) с полосами падения (*Alto cumulus virga*, *Ac vir.*) в виде волокон и пучков, которые выпадают из некоторых высококучевых облаков.

Высококучевые облака формируются преимущественно из мелких переохлажденных капель. Они образуются, в основном, вследствие волнового движения воздуха при инверсии, а также под фронтовыми поверхностями и орографическими склонами.

2. Высокослоистые облака (*Altostratus*, *As.*) обычно образуют сплошной ровный или волнистый покров, имеют серый или синеватый цвет, более плотную, чем перистые облака, структуру. Солнце и Луна видны сквозь эти облака очень смутно, примерно, как спираль в матовой лампочке. Они почти всегда сменяют перисто-слоистые.

Высота нижней границы этих облаков – от 3 до 5 км; мощность облачного слоя – около 1 км, реже – до 2 км.

Чаще всего такие облака возникают в процессе опускания и уплотнения перисто-слоистого облака и состоят из мелких капелек воды, но их вершина может достигать верхнего яруса и состоять из кристаллов льда. В этом случае ледяные кристаллы, падая в основную массу облака, действуют как ядра конденсации и вызывают осадки. Высокослоистые облака покрывают большие пространства, по мере понижения их основания уплотняются, под ними появляются мелкие темные клочья.

Высокослоистые облака подразделяются на следующие виды:

1). *Туманоподобные* (*Altostratus nebulosus*, *As neb.*) – в виде однородного серого слоя.

2). *Волнистые* (*Altostratus undulatus*, *As und.*) – имеющие волнистую нижнюю границу и местами – волокнистую структуру.

Разновидностями этих видов являются:

1) просвеченные (*Altostratus translucidus*, *As trans.*) – подобные более плотным перисто-слоистым облакам, но имеющие серый цвет и располагающиеся ниже; Солнце и Луна просвечивают через эти облака;

2) непросвеченные (*Altostratus opacus*, *As op.*) – в виде сплошного серого, местами – более светлого или темного покрова, Солнце и Луна не просвечивают через него;

3) дающие осадки (*Altostratus praeipitans*, *As pr.*) – обычно из этих облаков выпадают небольшие осадки, которые летом не достигают, а зимой достигают земной поверхности.

Высокослоистые облака состоят из мелких снежинок и переохлажденных капель воды. В условиях теплого фронта они движутся вслед за перисто-слоистыми и постепенно переходят в слоисто-дождевые, а с течением времени – в перисто-слоистые облака. При образовании тонких высокослоистых облаков на их фоне могут наблюдаться цветные венцы вокруг Солнца и Луны.

5.5. Облака нижнего яруса

К облакам нижнего яруса относятся слоисто-кучевые, слоистые и слоисто-дождевые облака. Общий вид облаков нижнего яруса представлен на рис. 5.8.



Рис. 5.8. Облака нижнего яруса

1. Слоисто-кучевые облака (*Stratocumulus*, *Sc.*) представляют собой серые или серовато-крупные гряды, волны или глыбы. Могут размещаться правильными рядами и иметь просветы голубого неба или образовывать сплошной покров неоднородной плотности. Обычно находятся на высоте 0,5-1,85 км и имеют мощность от 0,2 до 0,8 км.

Слоисто-кучевые облака подразделяются на следующие виды:

1). *Слоисто-кучевые волнистые* (*Stratocumulus undulatus*, *Sc und.*) – в виде чередования гряд и валов, которые сливаются в сплошной покров или разделяются просветами. Их разновидности:

1) просвеченные (*Stratocumulus translucidus*, *Sc trans.*) – в виде гряд, пластин и глыб, между которыми наблюдаются просветы голубого неба или верхние облака;

2) плотные (*Stratocumulus opacus*, *Sc op.*), слагающиеся из глыб или пластин и образующие плотную темно-серую массу; нижняя граница отчетливо очерчена, а на ее фоне различаются волны и гряды;

3) линзоподобные (*Stratocumulus lenticularis*, *Sc lent.*) в виде отдельных вытянутых в длину, достаточно плоских линзоподобных облачных образований.

2). *Слоисто-кучевые кучевоподобные* (*Stratocumulus cumuliformis*, *Sc cuf.*), отличающиеся заметной мощностью. Их разновидности:

1) башнеподобные (*Stratocumulus castellanus*, *Sc cast.*) – сложно-кучевые облака, из которых в отдельных местах вырастают башни или купола; напоминают небольшие кучево-дождевые облака;

2) дневные, растекающиеся (*Stratocumulus diurnalis*, *Sc diurn.*), образующиеся из дневных кучевых облаков в виде низкого продолжительного слоя или распадающихся гряд;

3) вечерние, распадающиеся (*Stratocumulus vespertalis*, *Sc vesp.*), образующиеся вечером в результате ослабления конвенции, которая вызывает оседание вершин кучевых облаков и растекание их нижней части в виде плоских длинных гряд;

4) вымяподобные (*Stratocumulus mammatus*, *Sc mam.*) – с выпуклостями, направленными вниз.

Слоисто-кучевые облака состоят преимущественно из мелких капель воды и осадков не дают. Они образуются вследствие волнового движения воздуха, возникающего в слоях инверсии, под слоем инверсии, где происходит растекание кучевых облаков, и вечером в связи с ослаблением конвенции.

2. Слоистые облака (*Stratus*, *St.*) имеют вид однородного слоя серого или желто-серого цвета, похожего на туман, поднявшийся над земной поверхностью. Эти облака обычно сплошной массой закрывают небо. Их нижняя граница выглядит косматой. Слоистые облака иногда опускаются так низко, что сливаются с туманом. Высота их основы обычно равна 0,1 – 0,7 км, мощность облачного слоя – от 0,2 до 0,8 км.

Слоистые облака разделяются на следующие виды:

1). *Слоистые туманоподобные (Stratus nebulosus, St neb.)* – однородные облака серого или желто-серого цвета, низко размещающиеся над земной поверхностью.

2). *Слоистые волнистые (Stratus undulatus, St und.)* – облака серого или желто-серого цвета, на нижней поверхности которых слабо просматриваются волны в виде чередования более темных и светлых частей.

3). *Слоистые разорванные (Stratus fractus, St fr.)* – нагромождение отдельных облаков с разорванными краями или косматый покров с обледенениями.

Разновидность таких облаков – *разорванно-дождевые (Stratus fractonibus, St frnb.)* – низкие, серые, мрачные, разорванные облака; из которых выпадают осадки.

Слоистые облака состоят из мелких капель воды, в них могут присутствовать и кристаллики. Из таких облаков летом возможно выпадение мороси, а зимой – снега. Слоистые облака образуются в условиях однородной воздушной массы, охлаждающейся при движении над холодной земной поверхностью или в результате радиационного охлаждения в ночное время, а также при развитии турбулентных движений воздуха вверх до инверсивного слоя.

3. *Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns.)* представляют собой темно-серую облачную массу, иногда имеющую желтоватый или синеватый оттенок. Они состоят из капелек и ледяных кристаллов. Нижняя поверхность этих облаков находится на высоте 0,1 – 1,0 км; толщина облачного слоя составляет 2 – 5 км и более. Из этих облаков выпадают блочные осадки (снег или дождь).

Слоисто-дождевые облака образуются в результате охлаждения воздуха при восходящих потоках над поверхностью атмосферного фронта.

5.6. Облака вертикального развития

1. *Кучевые облака (Cumulus, Cu.)* (рис. 5.9) – это облака, имеющие вид изолированных облачных масс, вертикальные размеры которых соизмеримы с горизонтальными. Такие облака вызываются температурной конвекцией или фронтальным подъемом и могут достигать высоты 12 км.

Кучевые облака – весьма плотные, имеют значительную мощность (до нескольких километров), белые куполообразные вершины и плоскую сероватую или синеватую основу. При сильном ветре края этих облаков выглядят разорванными. Высота их нижней границы на умеренных широтах составляет обычно от 0,8 до 1,5 км. Кучевые облака являются капельно-жидкими. В умеренных широтах из них не выпадают осадки, только в тропиках бывают незначительные дожди.

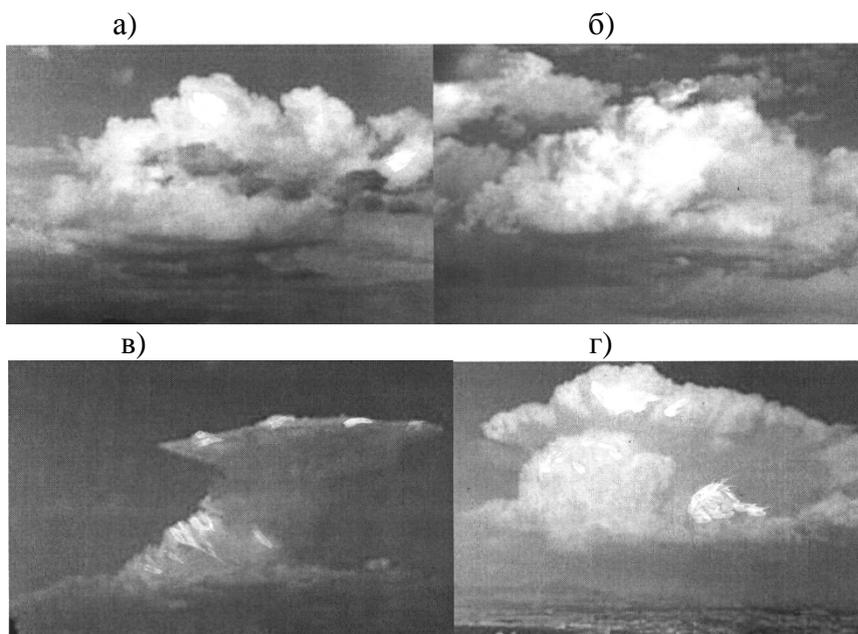


Рис. 5.9. Облака вертикального развития:

*а – облака хорошей погоды; б – кучевое среднее облако;
в – кучевое мощное облако; г – кучевое дождевое облако*

Кучевые облака подразделяются на следующие виды:

1). *Кучевые плоские (Cumulus humilis, Cu hum.)*, имеющие незначительную мощность (не более 1 км) и поэтому кажущиеся плоскими. Эти облака обычно появляются утром, увеличиваются в размерах днем, а вечером постепенно расплываются, преобразуясь в слоисто-кучевые, а ночью исчезают вовсе.

2). *Кучевые средние (Cumulus mediocris, Cu med.)* – облака с более значимой вертикальной мощностью (1 – 2 км), куполоподобными вершинами.

3). *Кучевые мощные (Cumulus congestus, Cu cong.)* – сильно развитые по вертикали облака (более 2 км); их вершины имеют белый цвет и сильно клубятся. Основание более темное.

Возникновение кучевых облаков связано с развитием конвекции. Они служат приметами устойчивой хорошей погоды.

2. Кучево-дождевые облака (Cumulonimbus, Cb.) – очень мощные облачные массы, которые появляются в результате преобразования кучевых облаков и напоминают горы или башни мощностью в несколько километров. Бывают случаи, что вершины кучево-дождевых облаков достигают тропопаузы и имеют волокнистую структуру. По достижении высоты перистых облаков вершина начинает размазываться, принимая форму наковальни. Наковальня такого облака характеризуется большими размерами. Кучево-дождевое облако образуется из мощного кучевого облака, когда крайняя неустойчивость воздуха создает мощные восходящие потоки, распространяющиеся на несколько квадратных километров.

Кучево-дождевые облака могут существовать как отдельные ячейки или образуют линию из ячеек, которая называется *линией шквалов*. Поддерживаемые сильными потоками восходящего воздуха (иногда – более 50 узлов), вершины этих облаков могут легко подниматься на высоту 12000 метров и даже выше. Нижние уровни таких облаков состоят, в основном, из капелек воды, в то время как на более высоких уровнях, где температура намного ниже 0°C, преобладают кристаллы льда.

Кучево-дождевые облака по международной классификации являются последней стадией облаков вертикального развития. Они всегда дают сильные ливни, иногда с градом. В таких облаках почти всегда сосуществуют жидкая вода и ледяные кристаллы, что вызывает мощные электрические явления. Кучево-дождевое облако представляет собой природную электростатическую машину: по существу, это – грозное облако.

Кучево-дождевые облака подразделяются на следующие виды:

1). *Кучево-дождевые лысые (Cumulonimbus calvus, Cb calv.)* – с хорошо очерченными вершинами, напоминающими белоснежные круговые купола, и слегка волокнистой структурой.

2). *Кучево-дождевые волосатые (Cumulonimbus capillatus, Cb cap.)*, верхняя часть которых имеет хорошо выраженную лохматую структуру, поступательно распространяющуюся по небосводу, превращая их в перисто-волокнистые облака.

Разновидности кучево-дождевых волокнистых облаков:

1) волокнистые с ливневым валом (Cumulonimbus arcus, Cb arc), передняя часть которых напоминает дугообразный облачный вал; вызывают сильный шквалистый ветер и ливневые осадки;

2) с кувалдой (Cumulonimbus incus, Cb inc.), когда перистоподобная часть облака растекается во все стороны, напоминая по форме огромную кувалду.

Кучево-дождевые облака образуются в результате адиабатического охлаждения воздуха при восходящих движениях его на фронтальных поверхностях или при конвенции.

5.7. Другие типы облаков

Кроме основных типов облаков существует огромное количество переходных типов:

1. Конденсационные следы – следы самолетов, чаще всего реактивных, т.е. искусственные перистые облака, возникающие за самолетами вследствие конденсации водяного пара,

вылетающего из двигателей. Такие следы наблюдаются на больших высотах в условиях очень низких температур, при которых вода превращается в лед, не успевая испариться.

2. Волнистые облака (рис. 5.10) – образования, являющиеся следствием волновых процессов в атмосфере, в противоположность слоистообразным облакам, связанным с восходящим скольжением, и кучевообразным, связанным с конвекцией.



Рис. 5.10. Волнистые облака

3. Облака препятствий (рис. 5.11), которые обязаны своим возникновением возвышенностям рельефа. В случаях, когда вершина горы выше уровня конденсации пара, в потоке воздуха, обтекающего эту вершину, происходит образование тумана, похожего на облако. Воздух за вершиной опускается вниз, происходит обратный процесс, и мы видим облако, как бы стоящее на одном месте над вершиной горы (возвышенности). Такие облака не дают осадков, но на поверхности земли может осаждаться влага.

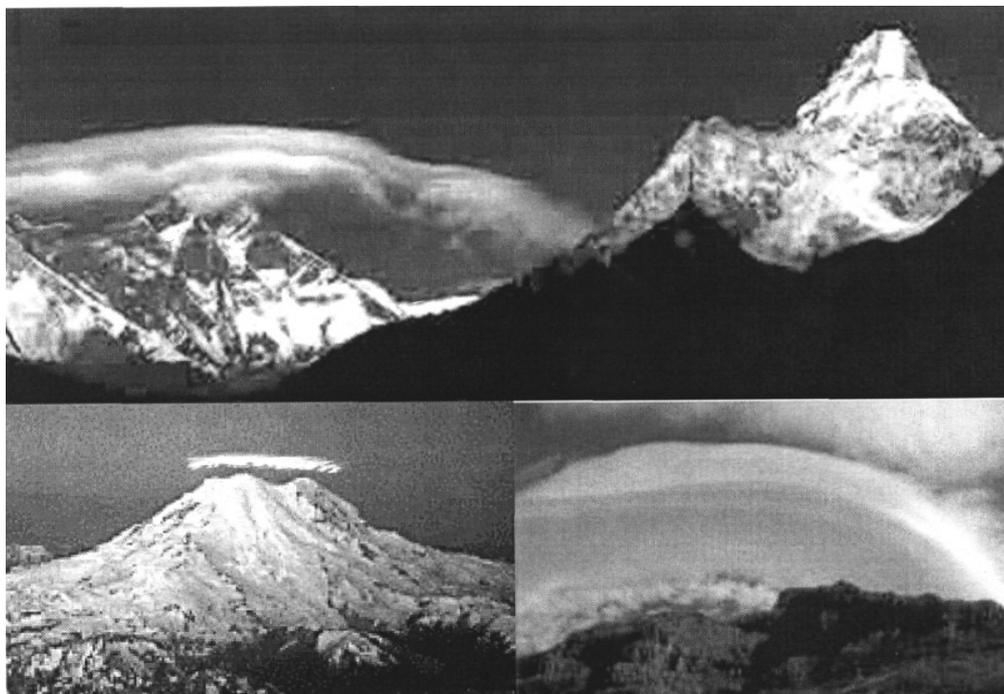


Рис. 5.11. Облака препятствий

При вынужденном вертикальном движении воздуха образуются и другие виды облаков (рис. 5.12).

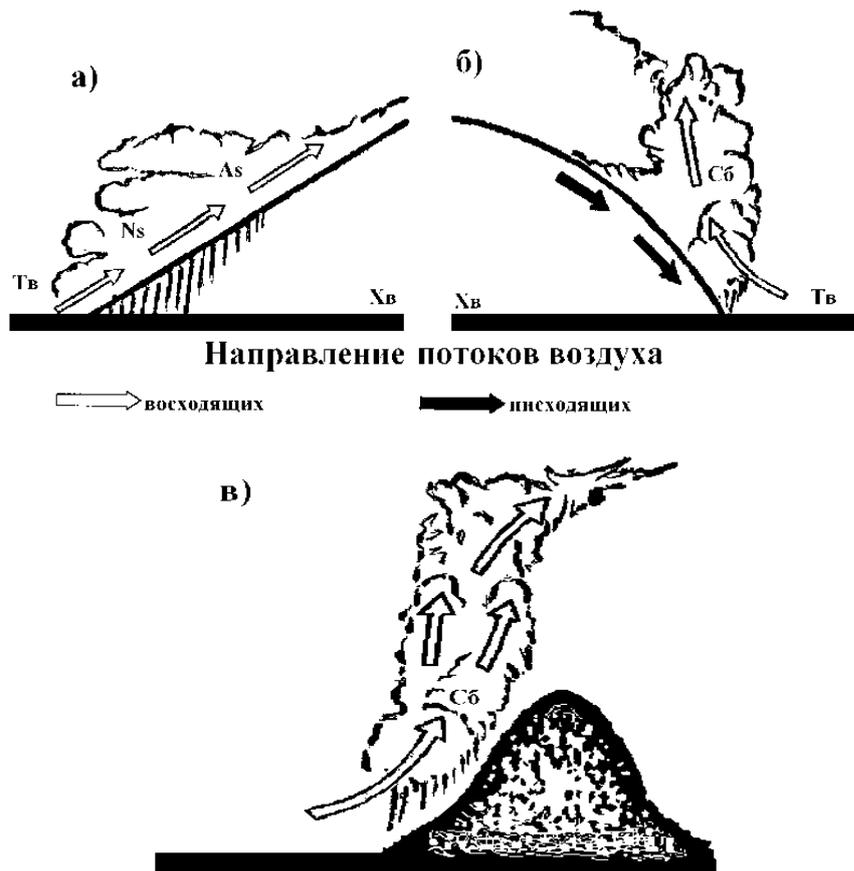


Рис. 5.12. Вынужденные вертикальные движения воздуха:
а – на теплых фронтах; *б* – на холодных фронтах; *в* – на вертикальных наветренных склонах горных хребтов; *Тв* – теплый воздух; *Хв* – холодный воздух; *As* – высокослоистые облака; *Ns* – слоисто-дождевые облака; *Сб* – кучево-дождевые облака

Разновидностью облаков препятствий является *фен* (рис. 5.13).

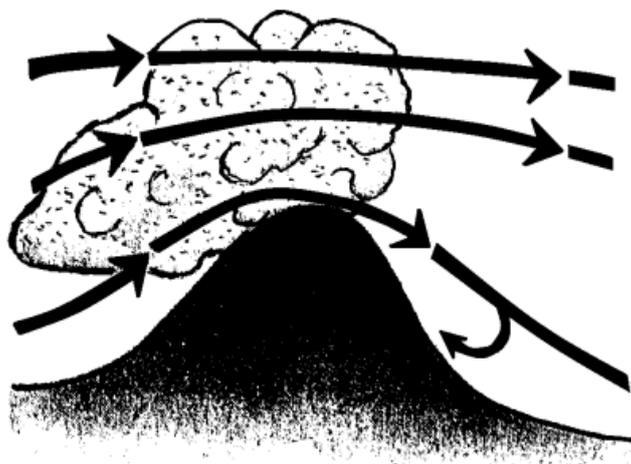


Рис. 5.13. Схема образования фена

5.8. Метеорологическая оценка облачности

Наблюдение за состоянием небосвода постоянно ведут *метеорологические станции*: определяется степень закрытия его облаками, форма облаков, нижняя граница облачного покрова и др.

Определение количества облаков производится визуально и оценивается по десятибалльной шкале. Ноль баллов ставится при отсутствии облаков; при полном покрытии облаками небосвода

присваивается десять баллов. Таким образом, облачность оценивается в зависимости от процента закрытия небосвода: 1 балл – 10 %, 2 балла – 20 % и т.д.

Форма облаков тоже определяется визуально путем сравнения их внешнего вида с характеристиками, приведенными в «Атласе облаков».

Высота нижней границы облаков выявляется с помощью наземного импульсного светового измерителя, шаров-пилотов, прожекторов или глазомерно (рис. 5.14).

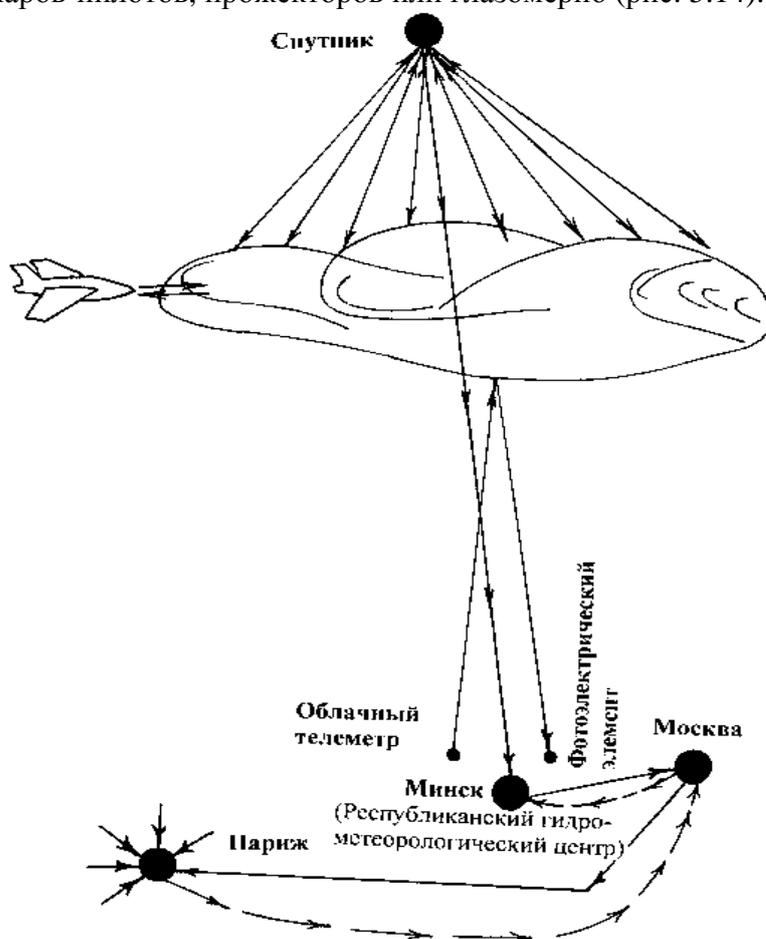


Рис. 5.14. Система наблюдения за облаками

Запись количества облаков производится в виде дроби: в числителе приводится общая облачность в баллах, в знаменателе – нижняя облачность.

5.9. Особенности облачности в Республике Беларусь

Для территории Беларуси характерна высокая влажность воздуха, а с нею – и значительная облачность. В осенне-зимний период около 85 % времени преобладает пасмурная погода, в основном, с плотными облаками нижнего яруса. В весенне-летний период облачность уменьшается, и в мае-августе небо остается пасмурным 40-60 % всего времени.

Пасмурных дней (по общей облачности) в Беларуси бывает от 175 на северо-западе до 135 на юго-востоке, ясных – 30-35 за год, на юго-востоке – до 40-42. На большей части территории максимум ясных дней приходится на март-апрель, и только на юго-востоке – на июль-сентябрь. Продолжительность солнечного сияния составляет в среднем за год 1730-1950 часов, увеличиваясь на юго-востоке. Минимальная его продолжительность – в осенне-зимний период, когда бывает подряд до 20 дней в месяц без солнца, а в остальные дни продолжительность солнечного сияния составляет в среднем 3 часа. В мае-июле только 1-3 дня в месяц бывают без солнца; в отдельные дни продолжительность сияния достигает 16 часов.

6. ТУМАНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

6.1. Общее понятие о туманах

Туман – это мельчайшие капли воды или кристаллы льда, взвешенные в воздухе у земной поверхности. туман снижает дальность горизонтальной видимости до значения менее 1 км. очень сильный туман ухудшает видимость до 50 м и меньше, сильный – до 50-200 м, слабый – до 500-1000 м.

Туман принадлежит к числу явлений погоды, особо неблагоприятных для движения всех видов транспорта.

Наличие тумана сильно осложняет или даже делает невозможным взлет и посадку самолетов, затрудняет работу водного и автомобильного транспорта, повышает опасность движения на автомобильных дорогах.

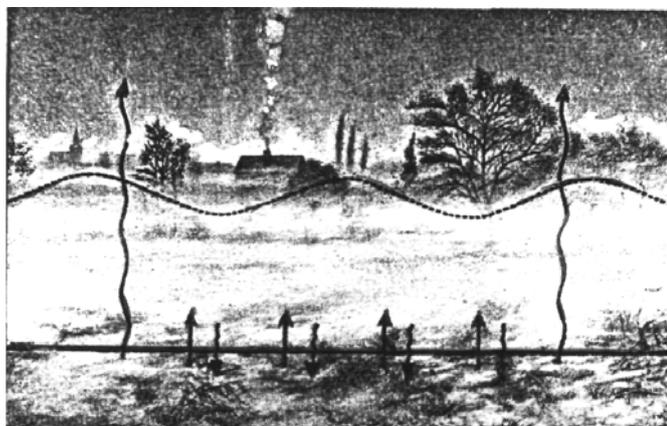
Основная причина образования тумана – охлаждение нижнего влажного слоя воздуха, соприкасающегося с холодной подстилающей поверхностью.

Классификация туманов производится по синоптическим и физическим условиям их образования или в зависимости от местных особенностей образования.

Различают следующие типы туманов (рис. 6.1):

- 1) адвективные;
- 2) адвективно-радиационные;
- 3) внутримассовые;
- 4) туманы испарения;
- 5) туманы охлаждения;
- 6) радиационные;
- 7) туманы склонов;
- 8) фронтальные.

а)



б)

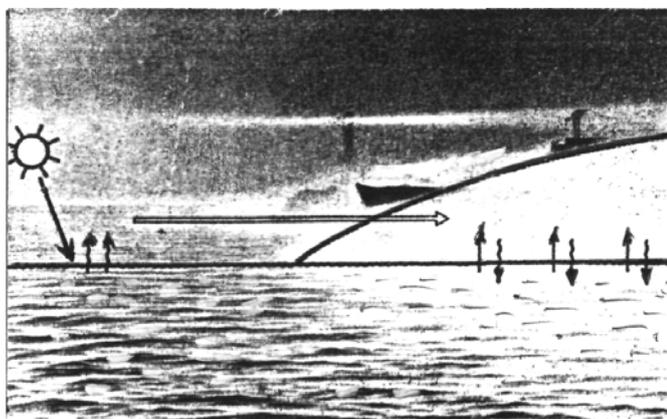


Рис. 6.1. Общий вид туманов:
а – радиационный; б – адвективный

Радиационные туманы (рис. 6.2) образуются над сушей при понижении температуры вследствие радиационного охлаждения земной поверхности, а от нее – и воздуха. Наиболее часто они возникают в ясные ночи при слабом ветре, преимущественно в антициклонах. После восхода солнца радиационные туманы обычно быстро рассеиваются. Однако в холодное время года в устойчивых антициклонах они могут сохраняться и днем, иногда – много суток подряд. Такие туманы наблюдаются над влажной поверхностью в виде белой пелены.

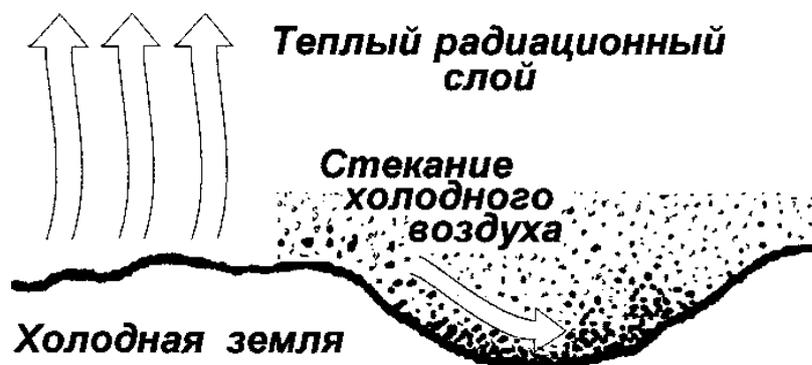


Рис. 6.2. Формирование радиационного тумана

Адвективные туманы (рис. 6.3) возникают в результате перемещения теплого влажного воздуха над охлажденной поверхностью суши или воды. Зимой возникновение таких туманов возможно при перемещении теплого влажного воздуха с моря на более холодную сушу. Осенью или в начале зимы они появляются над реками, болотами или озерами и прекращаются только после замерзания рек или озер.

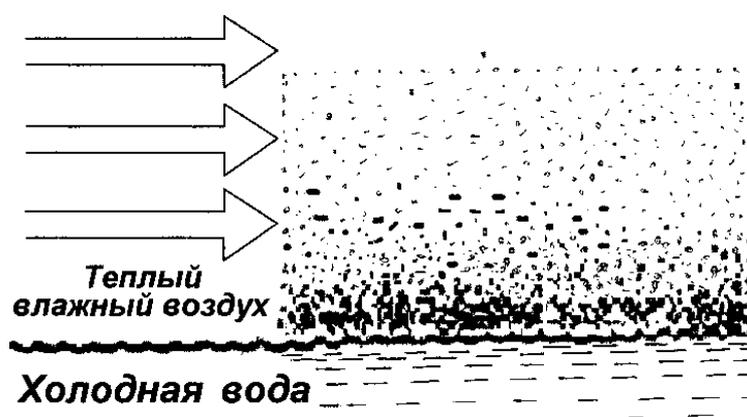


Рис. 6.3. Формирование адвективного тумана

Интенсивность адвективных туманов зависит от разности температур между поверхностями и от влагосодержания воздуха. Эти туманы могут образовываться как над сушей, так и над морем и охватывать огромное пространство – иногда порядка нескольких десятков и даже сотен тысяч квадратных километров. Адвективные туманы обычно бывают при пасмурной погоде и чаще всего – в теплых секторах циклонов. Они более устойчивы, чем радиационные, и часто не рассеиваются днем. Некоторые адвективные туманы относятся к туманам испарения и возникают при переносе холодного воздуха на теплую воду. Туманы такого типа образуются, например, в Арктике, когда воздух попадает с ледового покрова на открытую поверхность моря.

Адвективно-радиационные туманы возникают под влиянием перемещения теплого воздуха на холодную поверхность и радиационного выхолаживания, т.е. под влиянием двух факторов.

Туманы могут появиться в результате испарения (рис. 6.4), фронтальных процессов (рис. 6.5) и по разным другим причинам. Если в их основе лежат крупномасштабные процессы перемещения воздушных масс, туманы равномерно покрывают большие площади и участки дорог

значительной протяженности. При радиационном выхолаживании возможно их образование на отдельных участках дороги. В населенных пунктах туманы бывают чаще, чем вдали от них. Этому способствует повышенное содержание гигроскопических ядер конденсации (например, продуктов сгорания) в городском воздухе. При этом опасны не только участки дорог, проходящие по пониженным местам рельефа, но и те участки, где имеются источники водяного пара (сырые луга, заболоченные низины и т.д.). Так как туманы очень сильно ухудшают видимость на дорогах, на участках их возможного появления устанавливают специальные дорожные знаки.

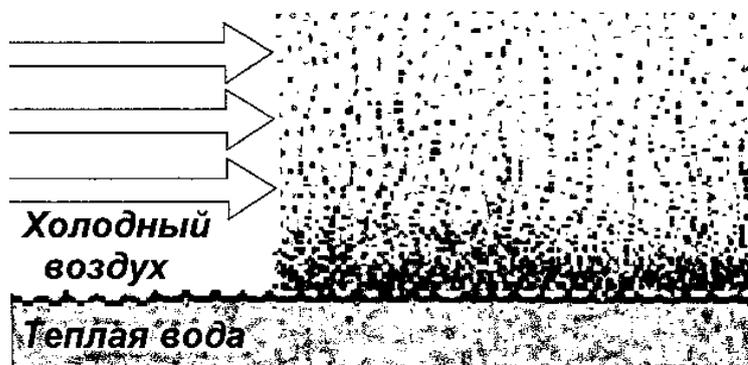


Рис. 6.4. Формирование тумана испарения

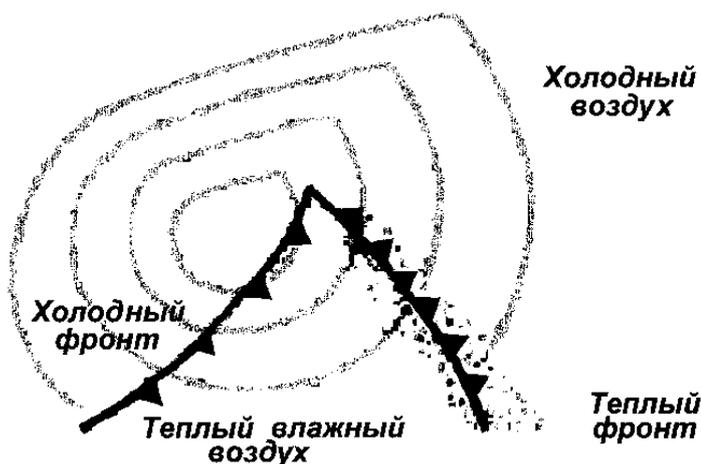


Рис. 6.5. Формирование фронтального тумана

6.2. Основные свойства туманов и дымки

Туман – это такое скопление вблизи поверхности земли взвешенных в воздухе мельчайших капелек воды или ледяных кристаллов, когда дальность горизонтальной видимости предметов хотя бы в одном направлении не превышает 1 км.

При дальности видимости 1 км и больше это явление называют *туманной дымкой*, или просто *дымкой*.

В зависимости от горизонтальной видимости предметов интенсивность дымки или тумана оценивается по табл. 6.1.

Таблица 6.1

Вид тумана или дымки	Видимость, м
Слабая дымка	4000 – 10000
Умеренная дымка	2000 – 4000
Сильная дымка	1000 – 2000
Слабый туман	500 – 1000
Умеренный туман	200 – 500

Сильный туман	50 – 200
Очень сильный туман	меньше 50

По своей физической природе туман является результатом конденсации водяного пара в нижнем слое воздуха. Он вполне подобен облакам, с которыми имеет много общего по процессам образования. Возможны и непосредственные переходы: приподнимаясь, туман переходит в низкие разорванно-слоистые облака, а при снижении облаков до поверхности Земли они вызывают явление тумана.

В зависимости от высоты верхней границы слоя тумана можно условно различать:

- 1) поземные туманы – при высоте до 2 м;
- 2) низкие туманы – 2 – 10 м;
- 3) средние туманы – 10 – 100 м;
- 4) высокие туманы – более 100 м.

Помимо тумана и дымки ухудшение видимости может быть вызвано запыленностью воздуха, задымленностью в связи с лесными или торфяными пожарами и др. В таких случаях это явление называется *смогом*. При сильном ветре в засушливых районах иногда наблюдаются пыльные и песчаные бури, также сильно ухудшающие видимость. Для Беларуси песчаные бури не являются характерным явлением. В отличие от тумана и дымки, наблюдающихся при относительной влажности, близкой к 100 %, смог обычно наблюдается при небольшой относительной влажности.

6.3. Микрофизическое строение туманов

Туман может состоять из капелек воды (*водяной туман*) и из ледяных кристаллов (*ледяной туман*). Многочисленные измерения показали, что величина капелек тумана колеблется в достаточно широких пределах: их радиус может быть меньше 0,001 мм и достигать 0,05-0,06 мм. В последнем случае эти капельки становятся видимыми невооруженным глазом и переходят в капли мороси. При дымке радиусы капелек, как правило, меньше 0,001 мм. В одном и том же тумане наблюдаются как более мелкие, так и более крупные капельки, но число капель различной величины неодинаково. Установлена зависимость преобладающей величины капелек тумана от температуры воздуха: чем выше температура, тем они обычно крупнее. При положительных температурах преобладают капельки радиусом 0,007-0,015 мм, при отрицательных – 2-5 мм.

Число капель тумана в единице объема тоже колеблется в широких пределах. В 1 см³ при слабом тумане содержится в среднем 50-100 капелек, а при сильном – 500-600 капелек и больше.

Микрофизическое строение ледяных туманов изучено значительно меньше. Составляющие их ледяные кристаллики имеют преимущественно форму столбиков длиной от нескольких микрон до 100 микрон и более. При значительной длине столбиков ледяные кристаллы становятся видимыми невооруженным глазом и начинают медленно выпадать. Число кристаллов, содержащихся в 1 см³ ледяного тумана, обычно меньше 100.

Ледяные туманы имеют, как правило, небольшую интенсивность. При низких температурах чаще наблюдается не туман, а дымка.

Капельки тумана могут находиться в переохлажденном состоянии при температуре значительно ниже 0°C, поэтому при не слишком низких отрицательных температурах наблюдаются преимущественно капельно-жидкие туманы. Все же при температурах ниже -20° преобладают ледяные туманы, хотя даже при температурах -30, -40° наблюдались отдельные случаи капельно-жидких туманов.

Возможны случаи, когда туман одновременно состоит как из переохлажденных капелек, так и из ледяных кристаллов. Однако такое состояние тумана является неустойчивым, так как при той же температуре абсолютная влажность насыщенного водяного пара над ледяными кристаллами меньше, чем над капельками воды. Поэтому ледяные кристаллы могут расти даже при условии испарения капелек тумана. Кроме того, при столкновении кристалла и переохлажденной капельки последняя замерзает.

6.4. Влажность и водность туманов

Туман может образоваться лишь после насыщения или даже некоторого перенасыщения водяного пара. Поэтому теоретически относительная влажность в тумане должна составлять 100 %. Однако метеорологические наблюдения показывают, что в тумане она составляет 98-100 %, а в отдельных случаях понижается до 80-90 %. Такие же значения относительной влажности наблюдаются в облаках. К подобным наблюдениям следует относиться критически, учитывая несовершенство станционных методов измерения влажности воздуха, особенно при отрицательных температурах.

Кроме того, при отрицательных температурах воздуха недоразумения с оценкой степени насыщения пара в тумане иногда возникают вследствие незнания микрофизического строения тумана, поскольку относительная влажность вычисляется при всех температурах по отношению к насыщению пара над плоской поверхностью воды. Например, при температуре -20° и относительной влажности 83 % по отношению к ледяным кристаллам тумана пар оказывается насыщенным.

До проведения точных измерений значений относительной влажности в тумане нет достаточных оснований считать водяной пар при тумане ненасыщенным. Поэтому во всех дальнейших расчетах будет приниматься, что туман образуется только после насыщения водяного пара, т.е. при относительной влажности 100 % для водяного тумана и меньше 100 % – для ледяного. Перенасыщения практически не требуется благодаря обычному наличию в воздухе ядер конденсации, о чем будет сказано выше.

Большой интерес с точки зрения метеорологии представляет **водность, или весовая концентрация тумана**, т.е. количество сконденсированной влаги в единице объема. Величина водности тумана зависит от размеров и числа капелек или ледяных кристаллов тумана в единице объема.

Если обозначить через Q абсолютное влагосодержание воздуха, понимая под ним массу водяного пара a и массу капель воды и кристаллов b 1 м³ воздуха, то

$$Q = a + b.$$

В случае, когда взвешенных капель воды и кристаллов льда в воздухе нет ($b = 0$), туман отсутствует ($Q = a$). Абсолютная влажность в тумане близка к максимальной влажности a_{\max} и всегда представляет собой функцию только одной температуры T . Образование тумана можно выразить в виде

$$b = Q - a_{\max}(T).$$

Его водность возрастает по двум основным причинам: вследствие увеличения общего влагосодержания; из-за понижения температуры воздуха, приводящего к уменьшению $a_{\max}(T)$.

Таким образом, чтобы образовался туман, необходимо либо увеличить общее влагосодержание воздуха и довести его до той величины, которая требуется для насыщения при данной температуре, либо понизить температуру воздуха до температуры конденсации содержащегося в ней пара.

Увеличение влагосодержания массы воздуха может произойти как за счет испарения воды с земной поверхности, так и за счет горизонтального и вертикального перемещения воздуха. Понижение температуры воздуха может быть обусловлено 3 основными физическими причинами:

- 1) радиационным выхолаживанием;
- 2) турбулентным и молекулярным теплообменом с соседними массами воздуха и земной поверхностью;
- 3) адиабатическим расширением воздушных масс при подъеме.

6.5. Оптические свойства туманов

Оптические свойства туманов сходны с оптическими свойствами облаков. Солнечный свет хорошо отражается от слоя тумана. Отраженный свет составляет около 80 % падающего, т.е. альбеде (коэффициент отражения) туманов, как и облаков, весьма велико. При высоком положении Солнца альбеде уменьшается (однако количественная сторона этого процесса мало исследована).

Часть падающих лучей поглощается туманом. При этом проявляется избирательный характер поглощения: капельки воды, как и водяной пар, хорошо поглощают длинные световые волны (инфракрасные, или тепловые, лучи). Сами капельки тумана также излучают длинные волны в соответствии со своей температурой; с этим связано уменьшение ночного охлаждения почвы и приземного слоя воздуха при наличии облаков или тумана.

Ухудшение видимости предметов в тумане связано, в основном, с рассеянием света. Мелкие частицы тумана (радиусом меньше 0,0005 мм) наиболее сильно рассеивают короткие световые волны (синие лучи), меньше рассеивают длинные волны (красные и инфракрасные лучи). Именно поэтому туманная дымка, когда капельки очень малы, имеет синеватую окраску. В обычных туманах, когда радиус капелек превышает 0,001 мм, световые волны всех длин рассеиваются практически одинаково. Во всех случаях степень рассеяния света, а следовательно, и степень ухудшения видимости предметов, пропорциональны числу капелек или ледяных кристаллов в единице объема. В свою очередь, число капелек в тумане тем больше, чем меньше их радиус и чем больше водность тумана. Поэтому справедлива следующая приближенная формула для оценки видимости L в тумане:

$$L = 2,5 \cdot (rm/a), \text{ м,}$$

где rm – средний радиус капелек тумана в микронах;

a – водность тумана в граммах на 1 м^3 .

Из этой формулы следует, что при одинаковой видимости при низких температурах размеры капелек в туманах с меньшей водностью меньше, чем в туманах с большей водностью.

При наличии яркого источника света в тумане могут наблюдаться оптические явления, обусловленные особой формой рассеяния света – *дифракцией*. Так, вокруг уличных фонарей при сильном тумане часто наблюдаются радужные венцы. При расположении тумана на некотором расстоянии от наблюдателя в виде четко очерченной туманной массы в отдельных случаях наблюдаются *глюрии* – тени от предметов, окруженные радужными венцами, а иногда и белые радуги. Это явление особенно характерно для горных районов. В ледяных туманах возможно образование кругов вокруг Солнца и Луны.

6.6. Общие сведения о процессах конденсации водяного пара и образования туманов

Как известно, испарение со свободной поверхности воды прекращается, когда водяной пар в слое воздуха над этой поверхностью становится насыщенным. Давление насыщенного пара, или его весовое количество в единице объема (абсолютная влажность), в большой степени зависит от температуры. При температуре -40°C и состоянии насыщения абсолютная влажность составляет всего $0,18 \text{ г/м}^3$, тогда как при $+40^\circ$ она возрастает до $51,13 \text{ г/м}^3$.

При понижении температуры насыщенного пара часть его конденсируется. Количество сконденсированной воды должно быть равно разности абсолютных влажностей насыщенного пара при более высокой и более низкой температурах. Однако теория и опыт показывают, что в воздухе, очищенном от всех примесей и заряженных электричеством частиц (ионов), конденсация не происходит даже при 8–9-кратном перенасыщении пара относительно плоской поверхности воды. Причина этого в том, что при очень малых размерах капелек, близких к размерам молекул пара, весьма мала вероятность образования устойчивых комплексов молекул – зародышевых капелек, поэтому равновесное состояние на границе жидкость – пар, т.е. состояние насыщения, достигается

только при очень большой концентрации пара. Присутствие в воздухе несмачиваемых частиц пыли почти не влияет на конденсацию водяного пара.

Если в воздухе содержатся смачиваемые и особенно – гигроскопические (поглощающие воду) взвешенные частицы (продукты горения, частицы морской соли и т. д.), конденсация пара на этих частицах начинается даже при относительной влажности 100 %, т.е. при отсутствии перенасыщения по отношению к плоской поверхности воды, а на в большой степени гигроскопических частицах соли – при влажности около 80-90 %.

Такие микроскопические частицы, взвешенные в воздухе и служащие центрами, на которых начинается конденсация водяного пара, были названы **ядрами конденсации**.

Обычно в воздухе содержится от нескольких сотен до сотен тысяч ядер конденсации в 1 см^3 , что обеспечивает начало конденсации водяного пара без его перенасыщения.

Скопление гигроскопических ядер конденсации в больших промышленных центрах, а также общее загрязнение городского воздуха продуктами сгорания топлива, может вызвать образование тумана даже тогда, когда в окрестностях города туман не образуется.

При росте капелек тумана, образовавшихся на гигроскопических ядрах конденсации, концентрация раствора уменьшается, и состояние насыщения достигается уже при влажности около 100 %. Поэтому, как это было уже отмечено ранее, для всех случаев капельных туманов нормальным является значение влажности около 100 % относительно плоской поверхности воды.

Известная зависимость упругости насыщенного пара от размеров капельки воды сильно сказывается лишь при очень малых размерах капелек, когда большое влияние оказывает кривизна их поверхности.

Таким образом, общими условиями начала конденсации водяного пара и, следовательно, образования тумана являются:

1) наличие ядер конденсации;

2) достижение водяным паром состояния насыщения при данной температуре с последующим ее понижением.

Первое условие в приземном слое воздуха практически всегда осуществляется, за исключением редких случаев (на высоких горах, иногда – зимой в северных районах).

Второе условие осуществляется далеко не всегда, что зависит от начальных свойств воздушной массы и степени ее охлаждения, так как именно при охлаждении воздушной массы может быть достигнуто насыщение и перенасыщение водяного пара.

6.7. Особенности образования ледяных туманов

Длительное время считалось, что водяной пар при низкой температуре может непосредственно переходить в твердую фазу – лед, если в воздухе имеются особые ядра сублимации. Многочисленные исследования в последнее десятилетие привели к выводу, что в атмосфере нет особых ядер сублимации и что образование ледяных кристаллов начинается с замерзания мельчайших зародышевых капелек или пленок воды на обычных ядрах конденсации, т.е. что образованию твердой фазы воды в атмосфере предшествует жидкая фаза.

Отсюда следует очень важный вывод: при расчетах начала образования туманной дымки независимо от температуры необходимо учитывать насыщение по отношению к поверхности воды, а не льда.

В последующем образовавшийся ледяной туман будет существовать при влажности, меньшей 100 %, возле поверхности воды, при условии насыщения или перенасыщения по отношению к ледяным кристаллам. Однако новые ледяные кристаллики в таком тумане не образуются.

Температура замерзания зародышевых капелек зависит от природы ядер конденсации и их размера, а также от внешних условий – степени развития турбулентности атмосферных движений и быстроты понижения температуры.

Образование ледяных кристалликов при отрицательных температурах, близких к 0° , может начаться лишь в весьма редких случаях. Обычно образование твердой фазы начинается при температурах $-10, -20^\circ\text{C}$. При малом числе ядер конденсации в очень спокойном воздухе и при очень медленном охлаждении воздушной массы капельный туман может наблюдаться при

температурах до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если температура понижается ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, наблюдаются только ледяные туманы. Таким образом, температура около $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ является критической температурой, до которой возможно существование капельных туманов и облаков.

6.8. Основные процессы образования туманов

Из сказанного выше следует, что образование тумана возможно при условии охлаждения воздушной массы до температуры ниже точки росы. Такое охлаждение может происходить вследствие различных физических процессов; при этом необходимо учитывать приток и отток тепла, т.е. тепловой баланс.

Для поверхности земли уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$R = \Phi_{\text{п}} + \Phi_{\text{т}} - \Phi_{\text{и}},$$

где R – радиационный баланс (т.е. разность между притоком и оттоком лучистой энергии);

$\Phi_{\text{п}}$ – приток тепла из почвы;

$\Phi_{\text{т}}$ – приток тепла, связанный с турбулентным теплообменом слоев воздуха;

$\Phi_{\text{и}}$ – затраты тепла на испарение.

Анализ теплового баланса и других условий показывает, что наиболее существенными процессами образования тумана являются:

1. Радиационное охлаждение подстилающей поверхности, а от нее – воздушной массы, – *радиационный туман*. Такой туман образуется на границе с земной поверхностью, когда воздух охлаждается до точки росы, а сама поверхность охладилась в результате длинноволнового излучения. Окружающий воздух отдает свое тепло земле, которая согревается от него.

2. Охлаждение теплой воздушной массы при ее горизонтальном перемещении (адвекции) вдоль холодной подстилающей поверхности – *адвективный туман*. Возникновение такого тумана вызвано горизонтальным перемещением теплого влажного воздуха над охлажденной поверхностью суши или моря. Теплый воздух, попав в более холодные районы, теряет свое тепло. Как только его температура достигает точки росы, ложится туман.

3. Адиабатическое охлаждение воздушной массы при поднятии вдоль склонов возвышенностей и гор – *туман склонов*.

4. Конвективное перемешивание воздуха при расположении холодной воздушной массы над теплой водной поверхностью – *туман типа парения*.

5. Перемешивание воздушных масс различной температуры, особенно резко проявляющееся у морских берегов, – *береговой туман*.

Во всех этих процессах большое значение имеет турбулентность (завихренность) движений воздуха, вследствие чего охлаждение от подстилающей поверхности распространяется на более или менее мощный слой воздуха. Кроме того, в ряде случаев на образование и рассеяние туманов могут оказать влияние дополнительные факторы:

1) увлажнение и охлаждение воздуха благодаря испарению выпадающих осадков и с подстилающей поверхности;

2) конденсация (сублимация) пара на подстилающей поверхности;

3) состав и состояние почвы;

4) рельеф местности;

5) понижение давления в движущемся горизонтальном потоке воздуха и др.

Как уже говорилось, к образованию тумана может привести снижение облаков.

Переходной формой между туманами и осадками являются ледяная пыль и очень мелкая морось. Эти явления могут выступать как стадия развития тумана (укрупнение частиц) или как форма выпадения осадков из облаков.

В ряде случаев туман может образоваться благодаря влиянию деятельности человека на состояние атмосферы.

В образовании туманов обычно участвует несколько процессов, разделить которые не всегда представляется возможным, что вносит известную условность в классификацию туманов.

Рассмотрим перечисленные процессы и их влияние на образование туманов.

6.9. Синоптические условия образования туманов

Просмотр карт погоды показывает, что синоптические условия образования туманов весьма разнообразны и имеют свою специфику для каждого географического района. Туман образуется тогда, когда в данный район поступает влажная масса воздуха и одновременно действуют те или иные туманообразующие факторы.

Туманы образуются под влиянием тех или иных синоптических процессов, характерных для данного географического района. Рассмотрим наиболее характерные синоптические условия образования различных туманов над сушей.

Радиационные туманы наблюдаются во влажных воздушных массах при прояснениях и слабом ветре, что наиболее характерно для центральных частей антициклонов и размытых барических полей, а также вдоль оси барических гребней.

Летом в центральных частях антициклонов воздух часто очень сух (относительная влажность при заходе солнца – меньше 60 %), что исключает возможность образования тумана. Поэтому летом радиационные туманы чаще наблюдаются на окраинах антициклонов и в размытых барических полях, – особенно в районах выпадения ливневых осадков и грозовой деятельности, где воздух увлажняется осадками, выпадающими преимущественно во вторую половину дня, незадолго до ночного радиационного охлаждения. То же самое характерно также для зон сильно размытых фронтов окклюзии, где на фоне общей повышенной влажности и отдельных пятен дождя и гроз ночью нередко наблюдаются отдельные прояснения и туманы.

В зимних условиях, во время морозов, радиационные туманы обычно возникают при устойчивом сохранении антициклонических условий погоды на протяжении нескольких дней, так как охлаждения воздуха за одну ночь обычно недостаточно для образования тумана (зимой туманная дымка более характерна, чем туман). Исключение составляют приморские районы, в которые поступает влажный воздух с моря. Для образования тумана в такой морской воздушной массе часто достаточно даже кратковременного ночного прояснения в барическом гребне при слабом ветре.

Во всех случаях для образования радиационных туманов характерно отмеченное ранее инверсионное распределение температуры в нижнем слое воздуха или, по крайней мере, формирование инверсии в приземном слое на протяжении ночи.

Адвективные туманы над сушей наблюдаются преимущественно в холодную половину года в приморских районах, но могут распространяться и на тысячи километров от берега океана вследствие перемещения теплых морских масс воздуха на большие расстояния вглубь материка.

Наиболее типично образование адвективных туманов для теплых секторов циклонов и примыкающих к ним северных окраин антициклонов, когда имеет место не только адвективное повышение температуры, но и увеличение абсолютной влажности.

Иногда адвективные туманы на окраине антициклона непосредственно примыкают к зоне радиационных туманов в центральной части антициклона. В таких случаях зона сплошных или почти сплошных туманов особенно обширна.

Орографические (адиабатические) туманы наблюдаются при подходе к горной цепи атмосферных фронтов и при синоптических условиях, обеспечивающих приток в район гор теплого влажного воздуха, т.е. сходных с условиями образования адвективных туманов.

В районе расположения ледников и у границы снегов условия образования туманов особенно благоприятны, так как к адиабатическому охлаждению здесь добавляется эффект перемешивания, а также добавочного охлаждения воздуха от холодной поверхности.

Парения водоемов возникают при тех же синоптических условиях, что и радиационные туманы, а также за холодными фронтами при вхождениях очень холодного воздуха.

Туманы смешения (береговые) образуются в малоградиентных барических полях при слабых ветрах.

Туманы снижения облаков наблюдаются преимущественно вблизи линий атмосферных фронтов, а иногда и за холодными фронтами в очень влажной зафронтальной массе воздуха (особенно – в высоких широтах). Случай одновременного радиационного образования слоистых облаков и высокого тумана в зимних антициклонах описан выше.

Ледяная пыль образуется при зимних антициклонах, формирующихся за холодным фронтом в высоких широтах.

Морозные (сибирские) туманы характерны для устойчивой антициклонической погоды.

Городские туманы в зависимости от причины их образования могут наблюдаться при различных синоптических условиях, когда ветер слабый и наблюдается инверсионное распределение температуры в нижнем слое. Именно в городских условиях особенно сильно загрязняется нижний слой воздуха, поднимаются различные испарения, образуя туман и дымку.

Над морем синоптические условия образования туманов отличаются от условий над сушей. Для *морских условий* нехарактерны радиационные туманы. Преобладающим типом здесь являются адвективные туманы, наблюдающиеся при таких синоптических условиях, при которых обеспечивается поступление теплого воздуха на относительно холодную поверхность моря.

Вопрос о синоптических условиях образования туманов различных типов имеет не только познавательный, но и практический интерес в целях прогноза погоды и заслуживает специального рассмотрения дорожными организациями при решении проблем безопасности движения на дорогах.

6.10. Меры повышения безопасности движения при туманах

Туман значительно снижает видимость при дорожном движении, меняет окраску окружающих предметов (рис. 6.6).

Так, желтый цвет становится красноватым, а зеленый – желтоватым. Отсюда ясно, что водителям необходимо соблюдать меры предосторожности, приближаясь к перекрестку. Условия движения в густом тумане схожи с движением ночью, но сложнее. Свет фар в густом тумане не может создать необходимой полосы освещенности. Пелена тумана может быть настолько густой, что ничего нельзя различить вокруг даже на несколько метров. Дальний свет фар в тумане создает перед автомобилем непроницаемую световую завесу, а в некоторых случаях, отражаясь от частиц тумана, может ослеплять водителя. Поэтому на автомобиле целесообразно иметь дополнительные противотуманные фары, лучи которых лучше проникают через туман.



Рис. 6.6. Туман в городе

В туманную погоду скорость движения необходимо контролировать с помощью указателей, устанавливаемых на краю автомагистрали (рис. 6.7). Туман очень часто появляется зимой и справедливо считается коварным погодным явлением. С одной стороны, на холодной поверхности дороги туманный осадок может превратиться в лед; с другой, видимость ухудшается, что приводит к оптическому обману зрения: например, крутой поворот может оказаться дальше, чем кажется. Поэтому при движении в тумане безопасное расстояние должно быть больше, а скорость следует выбирать соответственно ситуации. В тумане тормозной путь увеличивается, что может произойти из-за скольжения по воде, и машина становится неуправляемой. При видимости 50 м скорость должна быть до 50 км/ч, а безопасное расстояние составляет 50 м; при видимости 100 м предельная скорость – 80 км/ч, безопасное расстояние – 100 м; при видимости 150 м – предельная скорость – 100 км/ч, безопасное расстояние – 150 м. В такую погоду задние фонари едущего впереди автомобиля хорошо видны лишь при приближении к нему вплотную. При плохой видимости фары должны быть включены. Противотуманные фары включаются при видимости до 50 м и предельной скорости 50 км/ч, при лучшей видимости и более высокой скорости они не включаются по причине ослепляющего воздействия.

В связи с частыми туманами в данной местности необходимо предусматривать решение следующих задач: определение дальности метеовидимости; выбор оптимальной скорости движения автомобилей; проектирование дорог с учетом влияния рельефа, ландшафта и растительности на частоту образования тумана; устройство специального искусственного освещения и разметки.

Туманы в Беларуси – не редкость. За год бывает 35 - 100 суток с туманами, причем на равнинах их количество находится в пределах 35-60 суток и на возвышенностях – 80 - 100. Среднегодовая суммарная продолжительность тумана составляет от 140 до 4000 часов. На холодный период года приходится 60-80 % всех случаев появления туманов.

Туманы распределяются по территории республики весьма неравномерно, что связано с особенностями преобладающих воздушных масс, их влагосодержанием, характером температуры, положением пункта наблюдений над уровнем моря и другими факторами.

Количество туманных дней увеличивается с повышением высоты местности. Максимальное количество дней с туманом (140) отмечено в 1964 г. в Новогрудке. На холодную пору года выпадает 60-80 % всех туманных дней за год. Туманы часто возникают перед восходом солнца и рассеиваются через несколько часов после него. Средняя непрерывная продолжительность тумана в холодное время – около 10 часов, однако в особых случаях они могут продолжаться несколько суток, – например, в Минске в январе 1971 г. – 79 часов, в Новогрудке в декабре 1959 г. – 105 часов. Наиболее часты туманы с видимостью 500 -1000 м. Особенно опасны сильные туманы с видимостью менее 50 м, хотя они наблюдаются сравнительно редко – один раз в 2-3 года, и имеют среднюю продолжительность 2,5 часа. Однако в ноябре 1984 г. такой туман в Барановичах стоял 41 час

Образованию большого числа туманов способствует попадание теплого воздуха на холодную поверхность, а также перенос холодного арктического воздуха на районы с открытой водой. Как видно из табл. 6.1, наибольшее количество туманов характерно для осеннего и зимнего периодов года.

Среднее число дней с туманом

Станция	Месяцы года														Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10-3	4-9	
Брест	5	6	4	2	1	1	1	2	4	6	7	7	35	11	46
Василевичи	5	5	5	3	1	1	2	3	4	6	7	8	36	14	50
Верхнедвинск	3	4	4	3	1	1	2	4	5	5	6	4	26	16	42
Витебск	5	5	5	3	2	1	2	4	6	6	7	6	34	18	52
Гомель	7	7	6	3	1	1	2	3	4	6	9	9	44	14	58
Горки	6	5	3	3	1	1	2	3	4	6	8	8	39	14	53
Гродно	7	6	5	4	2	1	2	4	4	7	8	8	41	17	58
Лида	7	7	5	3	2	1	3	3	5	8	8	8	43	17	60
Марьина Горка	7	6	5	3	2	1	3	4	5	7	9	9	43	18	61
Минск	7	7	6	4	2	1	2	3	4	8	10	10	48	16	64
Могилев	8	7	7	4	2	1	2	3	5	7	9	10	48	17	65
Пинск	6	6	5	2	1	1	2	3	5	8	8	8	41	14	55



Рис. 6.7. Туман в предгорьях

Продолжительность туманов также колеблется в значительных пределах и зависит от места и времени года (табл. 6.2).

Средняя продолжительность туманов, ч
(средняя продолжительность тумана в день с туманом)

Станция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10-3	4-9	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Брест	32	30	21	6	3	2	3	6	12	31	44	43	<u>201</u> (5,7)	<u>32</u> (2,9)	<u>233</u> (5,1)
Василевичи	28	28	30	11	3	4	5	8	16	31	51	57	<u>225</u> (6,3)	<u>47</u> (3,4)	<u>272</u> (5,4)
Верхнедвинск	12	19	18	10	3	3	4	10	20	26	29	22	<u>126</u> (4,8)	<u>50</u> (3,1)	<u>176</u> (4,2)
Витебск	30	28	31	14	6	4	7	15	23	37	41	44	<u>211</u> (6,2)	<u>69</u> (3,8)	<u>280</u> (5,4)
Гомель	44	37	42	15	3	3	5	8	19	33	63	70	<u>289</u> (6,6)	<u>53</u> (3,8)	<u>342</u> (5,9)
Горки	29	29	34	15	5	3	4	8	16	28	54	51	<u>225</u> (5,8)	<u>51</u> (3,6)	<u>276</u> (5,2)
Гродно	35	32	25	16	6	3	5	10	14	39	57	55	<u>243</u> (5,9)	<u>53</u> (3,1)	<u>296</u> (5,1)
Лида	29	31	26	12	6	3	5	9	19	44	43	42	<u>215</u> (5,0)	<u>54</u> (3,2)	<u>269</u> (4,5)
Марьина Горка	40	39	35	14	6	3	8	13	21	47	66	63	<u>290</u> (6,7)	<u>65</u> (3,6)	<u>355</u> (5,8)
Минск	39	43	37	16	5	2	5	8	16	42	69	65	<u>295</u> (6,1)	<u>52</u> (3,3)	<u>347</u> (5,4)
Могилев	52	45	45	17	5	5	5	10	20	39	76	76	<u>333</u> (6,9)	<u>62</u> (3,6)	<u>395</u> (6,1)
Пинск	37	32	29	9	3	3	5	7	19	43	50	57	<u>248</u> (6,0)	<u>46</u> (3,3)	<u>294</u> (5,3)

Для движения по дороге в условиях тумана необходимо знать основные правила вождения в условиях ограниченной видимости, а также особые рекомендации по безопасности вождения в тумане.

В настоящее время многие автомобили еще на заводе комплектуются приборами светотехники со специальным противотуманным назначением – противотуманными фарами. Если такие фары на автомобиле отсутствуют, а при плохих метеоусловиях приходится ездить часто, необходимо самостоятельно дооборудовать ими машину.

Туман туману рознь. Он может быть слабым, средней плотности, очень плотным, ночным или дневным. Различные условия видимости, соответствующие каждому из типов тумана, обуславливают те контрмеры, которые должен предпринимать водитель.

В слабом ночном тумане можно двигаться в обычном режиме с включенным дальним светом, что обеспечит удовлетворительную видимость на 100 метров вперед; при встречных разъездах следует переходить на ближний свет. Но если туман, образовавшийся в темное время суток, имеет среднюю плотность, включение дальнего света будет создавать перед глазами белую стену, через которую трудно разглядеть, что делается впереди, поэтому в таких условиях лучше всего задействовать ближний свет в комбинации с противотуманными фарами. Если автомобиль не оснащен "противотуманками", управление им осложняется из-за дымки, ухудшающей видимость дороги. В плотном ночном тумане придется ехать только с включенными противотуманными фарами, поскольку всякий другой свет вызывает образование белого "занавеса".

Против дневного тумана неэффективны любые фары, так как они просто не способны высветить дорогу лучше естественного света. Днем главное – как можно раньше обнаружить встречный автомобиль и быть хорошо заметным для его водителя. В таких условиях лучше всего ехать с дальним светом – он, по крайней мере, даже в густом тумане виден встречным водителям с расстояния 100-120 м против 50-60 м, с которых в этом случае различаются противотуманные фары. Вероятность характерной для ночной езды в тумане белой пелены, создаваемой дальним светом, и ослепления встречных водителей, днем, при ярком естественном освещении очень мала. Однако немалую часть дорожно-транспортных происшествий в условиях тумана, составляют наезды вдогонку на автомобили, движущиеся в попутном направлении. Чтобы обезопасить себя от наезда движущихся сзади транспортных средств, необходимо кроме головной светотехники оснастить автомобиль задними противотуманными фонарями, которые по светотехническим и спектральным характеристикам в несколько раз превосходят обычные габаритные огни автомобиля и увеличивают на 40-50 % расстояние, с которого можно различить в тумане корму идущей впереди машины. Разрешается иметь один задний левый противотуманный фонарь, но надежней устанавливать два.

Но фары и фонари не спасут от столкновения, если автомобиль едет со скоростью, для погашения которой до нуля потребуются большой тормозной путь, чем расстояние до обнаруженного в тумане объекта. Поэтому главное условие безопасного движения в тумане – правильно выбранная скорость; при этом необходимо учитывать, что все предметы в тумане кажутся находящимися в два раза дальше, чем на самом деле, а темные объекты видны гораздо лучше, чем светлые. Кроме того, в тумане рекомендуется придерживаться выбранной полосы движения, воздерживаться от обгонов и резких торможений.

Таким образом, туманы как метеорологическое явление необходимо учитывать как при инженерном обустройстве автомобильных дорог и организации дорожного движения, так и при непосредственном использовании автомобильных дорог для транспортных коммуникаций.

6.11. Увеличение видимости в туманах

В результате многолетних экспериментальных и теоретических исследований, выполненных в Центральной Аэрологической Обсерватории Росгидромета, разработаны эффективная технология рассеяния переохлажденных туманов с целью улучшения видимости в аэропортах и на автодорогах и необходимые для ее реализации технические средства. Российская технология рассеяния переохлажденных туманов прошла апробацию в аэропортах Москвы, Кишинева, Моздока, Алма-Аты и Минеральных Вод, а с 1995 года успешно применяется при

опытно-производственных работах по улучшению видимости на автодорогах и в аэропортах Северной Италии. Применение технологии рассеяния переохлажденных туманов в аэропортах позволяет увеличивать видимость в тумане вплоть до необходимых значений, позволяющих производить посадку и вылеты воздушных судов. Применение технологии увеличения видимости в тумане на автодорогах существенно увеличивает безопасность движения.

Российская технология рассеяния туманов предполагает воздействие на фазовую неустойчивость переохлажденного тумана, связанную с долговременным существованием в нем переохлажденной жидко-капельной влаги. При введении в такой туман искусственных ледяных зародышевых частиц начинается процесс «перегонки» водяного пара с переохлажденных капель на эти частицы в силу того, что насыщающая упругость водяного пара над льдом меньше, чем над водой, из-за чего переохлажденные капли тумана испаряются, а кристаллики льда вырастают до крупных размеров и выпадают из тумана.

Для искусственного улучшения видимости в переохлажденных туманах применяются **стационарные и мобильные генераторы мелкодисперсных частиц льда**, работающие на жидком азоте (N_2). Введение в переохлажденный туман жидкого азота (температура кипения которого – $178\text{ }^{\circ}C$) вызывает резкое локальное понижение температуры, приводящее к замерзанию капель тумана, находящихся в этой зоне, что приводит к началу процесса «перегонки» водяного пара с переохлажденных капель на ледяные кристаллы, испарению капель и увеличению видимости в тумане.

Стационарные генераторы (рис. 6.8) используются для улучшения видимости на взлетно-посадочных полосах в аэропортах и дорожных развязках на крупных автомагистралях.

Генераторы устанавливаются вокруг защищаемых объектов с учетом местных метеорологических условий (розы ветров, местного рельефа и т.п.). Для дистанционного управления стационарными генераторами разработаны автоматизированные и полуавтоматизированные системы управления, включающие информационно-измерительный комплекс, предназначенный для контроля и регистрации параметров атмосферы, необходимых для принятия решения о воздействии, сеть стационарных генераторов и систему дистанционного управления генераторами.

Для оперативного улучшения видимости на автодорогах используются мобильные генераторы мелкодисперсных частиц льда (рис. 6.9), работающие на жидком азоте.



Рис. 6.8. Стационарный генератор мелкодисперсных частиц льда на жидком азоте



Рис. 6.9. Мобильный генератор мелкодисперсных частиц льда на жидком азоте

7. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

7.1. Общие сведения

Осадками называют влагу, которая в жидком или твердом состоянии выпадает из облаков в виде дождя, снега, града, крупы, мороси и др.) или образуется на поверхности земли и предметах в результате конденсации водяного пара, содержащегося в воздухе, в виде росы, изморози, инея, гололеда.

По характеру выпадения осадки делятся на **обложные**, состоящие из капель или снежинок средней величины, выпадающие продолжительно и на большой площади; **ливневые**, состоящие из крупных капель дождя или хлопьев снега, выпадающие непродолжительно, начинающиеся и прекращающиеся внезапно, с изменчивой интенсивностью; **морозящие**, состоящие из мельчайших капель, снежинок или ледяных игл, интенсивность выпадения которых исключительно мала.

Роса и иней не выпадают из воздуха, а образуются непосредственно на охлажденных поверхностях. На шероховатой поверхности охлаждение происходит довольно интенсивно. В результате на дорожном покрытии упругость водяных паров оказывается меньше, чем в глубине дорожной одежды. Водяные пары из дорожной конструкции устремляются к поверхности, усиливая возможности ее увлажнения и образования скользкости. Терморегулирование дорожных одежд – одна из проблем повышения их эксплуатационных качеств.

Принципиальная схема образования осадков приведена на рис. 7.1.

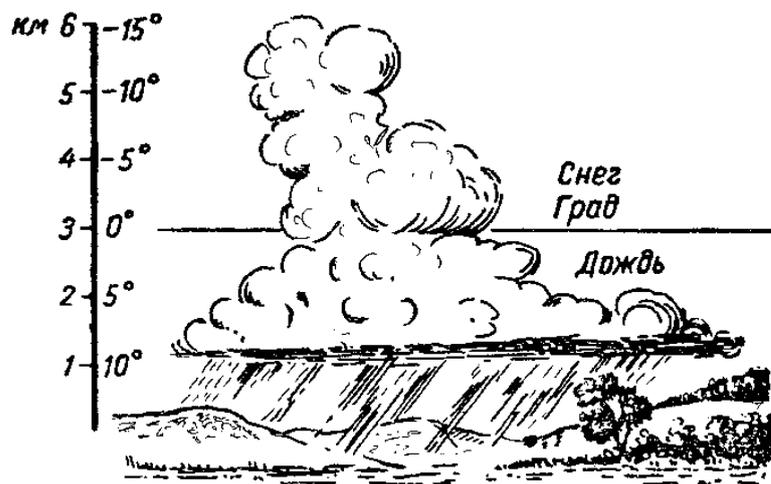


Рис. 7.1. Образование осадков

7.2. Виды атмосферных осадков

В зависимости от фазового состояния атмосферные осадки подразделяются на твердые, жидкие и смешанные. К **твердым осадкам** относят снег, град, крупу, гололедицу, иней, изморозь; к **жидким** – дождь, росу. Осадки характеризуются размером капель, количеством, интенсивностью, началом и окончанием выпадения. Размер капель зависит от особенностей облаков, из которых образуются осадки, и температуры воздуха в тропосфере. Характеристика осадков приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Характеристики размеров капель,
выпавших из разных облаков

Облака	Число капелек в 1 см ³	Средний диаметр в микронах	Крайние значения диаметра в микронах
Слоистые	250-650	10-12	2-80
Слоисто-дождевые	150-350	12-22	2-40
Высокослоистые	400-500	10	2-25
Слоисто-кучевые	300-500	8-16	2-50
Кучевые хорошей погоды	250-400	16-20	6-70
Кучевые мощные	60-600	50	6-160
Кучево-дождевые	70-200	40	4-200

Под **количеством осадков** подразумевается высота в миллиметрах слоя воды, который мог бы образоваться на горизонтальной поверхности после выпадения осадков, если бы не было их проникновения в почву, поверхностного стока и испарения. Количество осадков для определенного периода времени вычисляется с точностью до 0,1 мм.

Интенсивность осадков – это их количество, выпадающее в единицу времени (обычно за 10 минут). Выражается в мм/мин с точностью до 0,01 мм/мин.

Различные виды осадков характеризуются особенностями частиц, которые входят в их состав. К твердым осадкам относятся снег, град, ледяной дождь и др.

Снег – кристаллики, образующиеся при конденсации водяного пара при температурах значительно ниже 0°C, которые при определенных условиях объединяются и падают на землю в виде снежинок. Плотность свежеснежавшего снега колеблется в широких пределах. В некоторых случаях снег рассматривается как рекреационный фактор; если таяние снега предшествует

ливневым дождям или происходит одновременно с ними, он участвует в формировании паводков. Во многих регионах мира снег является источником воды, используемой для ирригации, выработки электроэнергии, водоснабжения городов, и поэтому играет важную роль в хозяйственной жизни государства.

Для снега характерно наличие последовательного ряда форм от сублимационных кристаллов до бесформенных комочков снежной крупы, когда внутренние кристаллы погребены под массой намерзших капель переохлажденного облака. Кроме того, есть целый ряд форм, возникших от искажения снежинок при таянии и последующем замерзании, начиная от почти неизменного кристалла и кончая шариком ледяного дождя. Все формы снежинок могут выпадать одиночно или соединенными в хлопья. Чистокристаллические снежинки часто имеют вид неправильных сростков из правильных кристаллов. Ледяные частицы могут выпадать из облаков, из тумана и при ясном небе, и при этом имеют различную величину – от почти неразличимых невооруженным глазом зародышей до огромных хлопьев снега, превышающих 10 см в поперечнике.

Град – частички плотного льда, прозрачные или матово-белого цвета, выпадающие из ливневых облаков. Отдельная частичка града называется градиной. Размер градин бывает от нескольких миллиметров до десятков сантиметров в поперечнике. Мелкий град, наибольший размер частиц которого не превышает 5 мм, называется **ледяной крупой**. Градины неоднородны по строению. Иногда в них чередуются прозрачные и мутные слои льда, находятся включения пыли, соломы, насекомых и т.п. Очень крупные градины обычно состоят из смерзшихся мелких градин. Для выпадения ледяной крупы характерна небольшая положительная температура воздуха у поверхности земли, для выпадения града – высокая температура. Обильный или крупный град почти всегда выпадает в грозу и бурю. Выпадение града может дать на земле покров осадка толщиной до 20-30 см (рис. 7.2).

На Беларуси град бывает в период с апреля по октябрь, чаще всего в мае и июне. Он проходит обычно узкими полосами шириной 300–500 м, длиной 2–3 км (бывают случаи, когда ширина достигает 2-3 км, длина – 15 км). Продолжительность выпадения града – от нескольких минут до получаса, чаще всего – 6-7 минут. В среднем ежегодно в каждой точке территории град бывает 1-2 раза, а в отдельные годы – до 5-7 раз. **Ледяной дождь** – выпадающие из облаков ледяные частицы неправильной или округлой формы, возникающие при обледенении дождя или полурастаявшего мокрого снега. Ледяной дождь возникает, когда на большой высоте над поверхностью земли простирается слой теплого воздуха, в котором тает падающий снег, а непосредственно над земной поверхностью располагается слой воздуха с отрицательной температурой. Ледяной дождь бывает двух видов: замерзший дождь и оледенелый снег.

Замерзший ледяной дождь – мелкие ледяные шарики, выпадающие из облаков, размером 1-3 мм, иногда меньше (редко встречающиеся) и значительно больших размеров – вплоть до 20 мм, имеющие вид нескольких крупных полуслившихся капель. Форма частичек ледяного дождя чаще всего бывает округлой: шар, конус. Льдинки могут состоять из испольных ледяных капелек, и поэтому имеют неправильную форму, матовый вид; лед здесь совершенно аморфен и никаких следов скелетного строения не имеет. Замерзший (ледяной) дождь – явление нередкое.

Оледенелый снег – выпадающие из облаков кусочки льда неправильной формы, еще частично сохранившие форму снежинки. Обычный размер – 1-3 мм. Оледенелые снежинки не имеют неискаженных плоских кристаллических поверхностей; форму снежинки, из которой они произошли в результате оттаивания и последующего замерзания, определить нельзя. В то же время они не являются конгломератом мелких водяных капель, смерзшихся вместе. Оледенелый снег выпадает довольно редко.

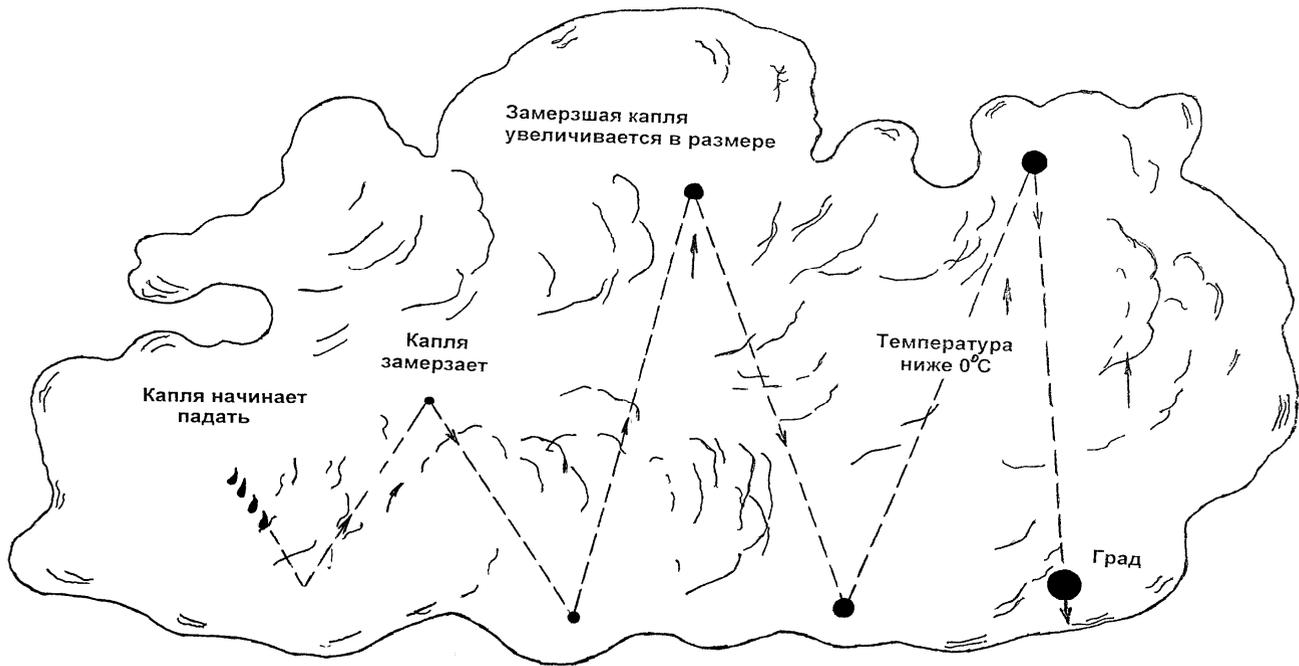


Рис. 7.2. Схема образования града

Дождь (рис. 7.3) – жидкие водяные капли, выпадающие из атмосферы на поверхность земли.

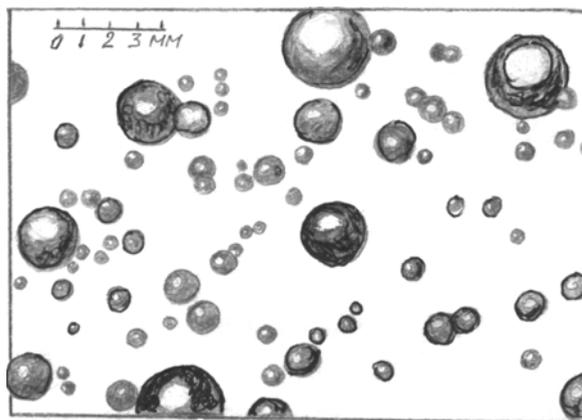


Рис. 7.3. Дождевые капли

Для определения размеров дождевых капель в настоящее время применяются оптические и электрические методы. Измерения показали, что радиус дождевых капель изменяется от 0,05 до 3,5 мм. Капли осадков диаметром меньше 0,5 мм называются **моросью**. В морозящих дождях скорость падения капель – 0,3-2 м/с. В продолжительных, обложных дождях капли крупнее – от 0,5 до 11,5 мм. Более крупные капли выпадают при ливневом кратковременном, но сильном дожде: они имеют радиус 2,0 – 2,5 мм и скорость падения 6 – 9 мм/с. Умеренные дожди образуют за сутки слой осадков 50 – 60 мм, а сильные ливни могут за полчаса излить более 100 мм воды.

Дождь выпадает как из водяных, так и из ледяных облаков. При малых вертикальных скоростях движения воздуха из облаков выпадает морозящий дождь; при значительных (более 2 м/с) мощность облаков бывает не менее 3-4 км (обычно – в тропических широтах при выпадении тропических ливней). Из ледяных облаков осадки выпадают чаще, при этом иногда снег, падающий в слой воздуха ниже 0°, растаяв, выпадает в виде умеренного дождя. В зависимости от мощности облака и скорости происходящего в нем роста снежинок интенсивность дождя будет разной.

Атмосферные осадки оказывают существенное влияние на состояние автомобильных дорог, организацию работ при их строительстве, ремонте и содержании. Особенно большую роль играют осадки в виде снега – *снегопады*.

Снегопады классифицируются по различным признакам:

1. *С синоптических позиций* – снегопады теплого фронта (общий), холодного фронта; внутри неустойчивой массы воздуха (ливневой), внутри устойчивой воздушной массы (морозящий).
2. *По состоянию неба* – снегопады от водяного облака, от ледяного облака и при чистом небе.
3. *По свойствам частиц снегопада*:
 - 1) по величине: мелкий снег (размер снежинок – менее 5 мм); мелкие хлопья (размер хлопьев и круглых кристаллов – 5-15 мм); крупные хлопья (размер хлопьев – более 15 мм);
 - 2) по монолитности: монолитные снежинки; хлопья снега;
 - 3) по объемной плотности: малая (меньше 0,03); средняя (от 0,03 до 0,1); большая (свыше 0,1);
 - 4) по скорости падения снежинок: парение в воздухе (меньше 0,1 м/с); медленное оседание (от 0,1 до 0,3 м/с); умеренная скорость падения (от 0,4 до 0,8 м/с); быстрое падение (свыше 0,8 м/с);
 - 5) по форме частиц снегопада: пластинки, звездочки, столбики, иглы, пушинки, кристаллы;
 - 6) по влажности: сухие (без признаков воды); влажные (прилипающие к предметам); мокрые (тающие при ударе).
4. *По интенсивности* – количеству осадков в миллиметрах слоя воды: мелкая (меньше 0,1 мм/ч), средняя (0,1-1 мм/ч), большая (более 1 мм/ч).
5. *По приросту высоты снежного покрова*: медленный (меньше 2 мм/ч), умеренный (2-20 мм/ч), быстрый (более 20 мм/ч).
6. *По видимости в период снегопада*: малая (менее 1 км), средняя (1-10 км), большая (больше 10 км).
7. *По плотности снегопада*: малая (меньше 10 снежинок на 1 м³), средняя (10-100 ед./м³) и большая (более 100 ед./м³).
8. *По устойчивости* различают снегопад: с устойчивой интенсивностью, с колеблющейся интенсивностью и с переменной интенсивностью.

7.3. Приборы и методы измерения количества осадков

Интенсивность и количество осадков зависят от содержания в них воды, а также от скорости и амплитуды охлаждения воздуха. Выделяются два основных типа осадков:

1. Осадки, выпадающие на обширной территории в результате циклонической деятельности; их можно подразделить на фронтальные, которые формируются, когда теплый воздух поднимается над холодным, и нефронтальные, когда происходит горизонтальная конвергенция, и поднимающийся воздух перетекает в область низкого давления.

2. Осадки, выпадающие на меньшей территории и представляющие собой интенсивные грозовые ливни, при которых более теплый воздух нижних слоев быстро выносится вверх сильными конвективными течениями.

Осадки конвективного типа могут быть одной из стадий циклона; оба типа осадков могут усиливаться за счет дополнительного подъема воздуха над высокими формами рельефа.

Современный инструмент для измерения осадков – *автоматический пювигроф*, непрерывно регистрирующий в графической форме количество, продолжительность и интенсивность атмосферных осадков. Используются также *дождемеры*, улавливающие осадки. Там, где снег выпадает нерегулярно и в небольшом количестве, применяются те же приборы, что и для измерения жидких осадков. В горных областях устанавливаются *емкости-ловушки*, аккумулирующие снег иногда в течение всего холодного сезона. Попадая в емкость, снег тает под воздействием

концентрированного солевого раствора. Количество выпавшего снега измеряется также при помощи *снегомерной трубки*, которой берут снежный керн, взвешиваемый для определения эквивалентного слоя воды.

Осадкомер Третьякова (рис. 7.4) представляет собой систему, включающую два сменных одноборных ведра с общей крышкой, приспособления для установки ведра, планочной защиты и измерительного стакана.

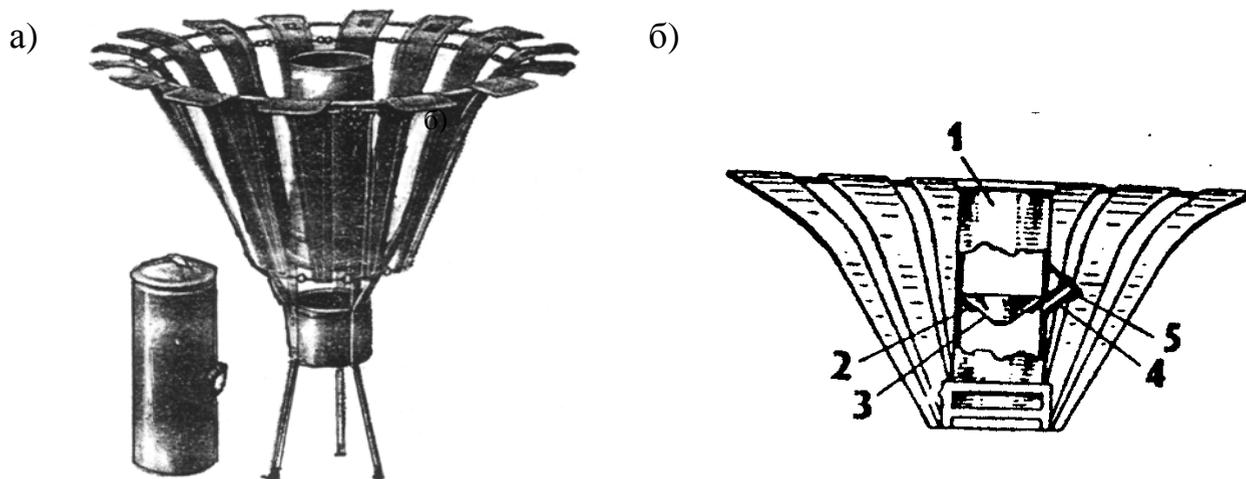


Рис. 7.4. Осадкомер Третьякова:
а – общий вид; б – схема устройства; 1 – приемник осадков; 2 – конусообразная диафрагма; 3 – воронка; 4 – носок для слива воды; 5 – крышка

На метеорологической площадке осадкомер устанавливается с таким расчетом, чтобы верхний срез приемного ведра находился на высоте 2 м над поверхностью земли (рис. 7.5).

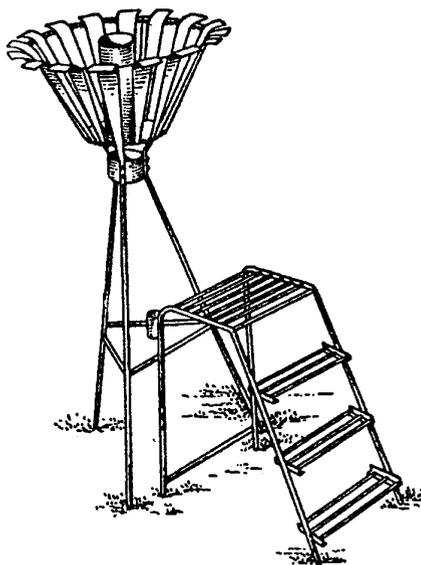
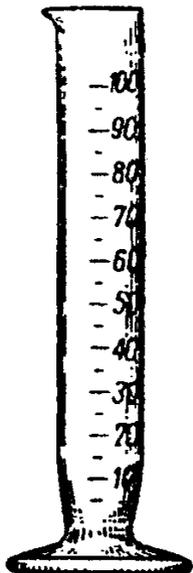


Рис. 7.5. Установка осадкомера на метеорологической площадке

Место установки осадкомера должно быть достаточно открытым и, вместе с тем, защищенным со всех сторон деревьями или строениями. От окружающих предметов осадкомер должен находиться на расстоянии не менее трехкратной высоты.



Измерение количества осадков проводится 4 раза за сутки, а по результатам определяется суточное количество. В момент наблюдения наблюдатель приносит на метеоплощадку пустое ведро, закрытое крышкой, и заменяет установленное в осадкомере. Ведро с осадками закрывается крышкой и переносится на станцию, где его содержимое (твердые осадки – после их растаивания) переливается в мерный цилиндр, цена деления которого равна 2 см^3 (рис. 7.6).

Количество осадков при этом определяется по формуле

Рис. 7.6. Измерительный цилиндр осадкомера

$$Q = \frac{V}{F}, \text{ мм,}$$

где V – объем воды в мерном цилиндре, $V = 2N, \text{ см}^3$;

N – количество делений на шкале мерного цилиндра, занимаемых водой;

F – приемная площадь воды.

Если объем воды в мерном цилиндре меньше одного деления, считается, что количество осадков равно нулю. Если количество осадков превышает объем мерного цилиндра, измерения проводятся по частям, а результаты суммируются.

С целью повышения точности измерений вводятся поправки: для твердых осадков при их количестве более 0,5 мм поправка составляет +0,1 мм; для жидких осадков, которых выпало менее 0,5 мм, – (+0,1) мм; более 0,5 мм – (+0,2) мм.

Суммарный осадкомер (рис. 7.7) предназначен для измерения осадков в малонаселенных и труднодоступных местах.

Прибор позволяет измерять сумму осадков за год. Осадки попадают в емкость через приемник. В верхней части емкости имеется приспособление для измерения их количества. Для предупреждения испарения осадков в осадкомер заливается минеральное масло, которое всплывает на поверхность воды. Количество воды измеряется при помощи измерительного стакана. Твердые осадки расплавляются паяльной лампой.

Полевой дождемер (рис. 7.8) представляет собой измерительный стакан с делениями 1 мм для определения объема, заполненного осадками.

Вверху стакана имеется уширенная часть, которая служит приемником осадков. Внутри этой части размещается воронка, в которую стекают осадки, содержащиеся в стакане. Дождемер вместе с защитой устанавливается на деревянном столбе или металлической подставке. Прибор обычно используют в сельскохозяйственных и организационно-строительных целях, а также при проведении некоторых экспериментальных работ. Количество осадков определяется как отношение их объема к площади отверстия в верхней части измерительного стакана.

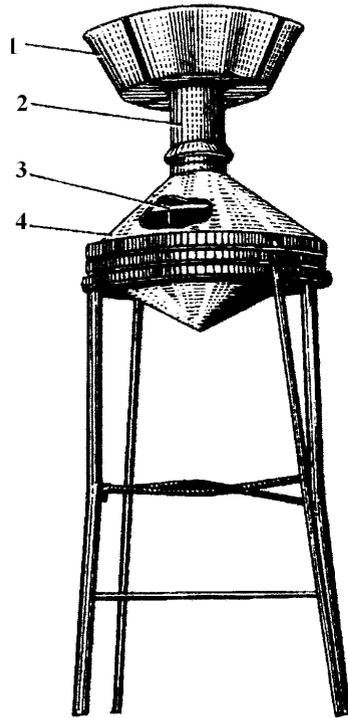


Рис. 7.7. Суммарный осадкомер:

1 – ветровая защита; 2 – приемная часть осадкомера; 3 – приспособление для изъятия осадков в процессе измерения; 4 – емкость для сбора осадков

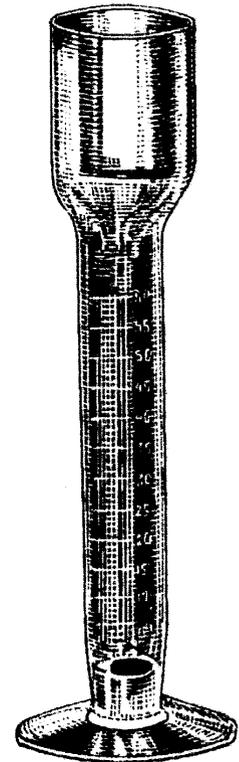


Рис. 7.8. Полевой дождемер

Плювиограф (рис. 7.9) – прибор, предназначенный для непрерывной записи количества, интенсивности и продолжительности осадков.

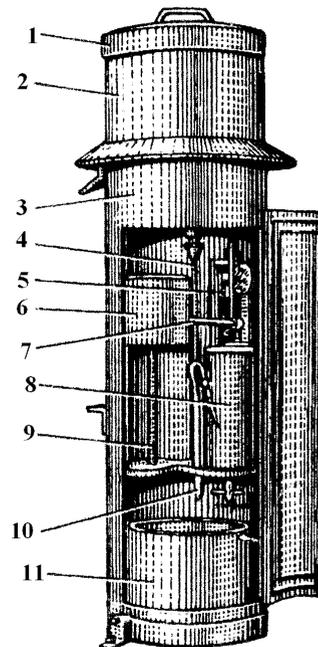


Рис. 7.9. Плювиограф:

1 – крышка; 2 – верхняя часть шкафа; 3 – металлический шкаф; 4 – трубка; 5 – приспособление для принудительного слития осадков; 6 – барабан;

7 – перо; 8 – поплавковая камера; 9 – ось вращения часового механизма;
10 – сифон; 11 – емкость для слива осадков

Прибор состоит из приемника, регистрационной системы и металлического шкафа с дверцами. Измерение осадков основано на записи их количества в поплавковой камере при ее последовательном заполнении и принудительном опорожнении.

Запись на ленте самописца затем обрабатывается. На ленте обозначаются начало и конец, количество и продолжительность осадков, их интенсивность.

Плювиограф на метеоплощадке закрепляется на столбе с таким расчетом, чтобы приемная камера была на высоте 2 м от поверхности земли и имела строго горизонтальное положение. На зимний период плювиограф снимается и сохраняется в помещении метеостанции.

Росограф (рис. 7.10) – прибор для записи количества осадков, образующихся на поверхности почвы, растений и предметов в результате конденсации водяных паров, находящихся в воздухе.

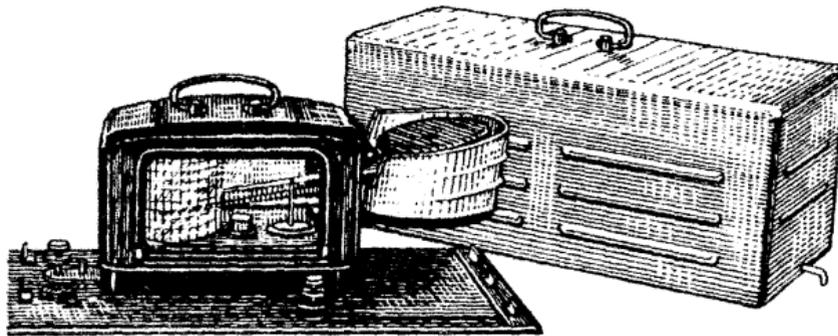


Рис. 7.10. Росограф

Прибор состоит из основного приемника, квадратных весов, уравнивающего груза, малого приемника и регистрирующей части. На одном конце коромысла весов закреплен приемник росы, представляющий собой конусообразную тарелку из винипласта, на другом – уравнивающий груз. Количество выпавшей росы определяется по отклонению коромысла, с которым соединена стрелка с пером, осуществляющим запись показаний на бумажную ленту барабана, вращающегося при помощи часового механизма.

Для измерения снежных отложений используются **снегомерные рейки** (рис. 7.11) и весовой снегомер (рис. 7.12).

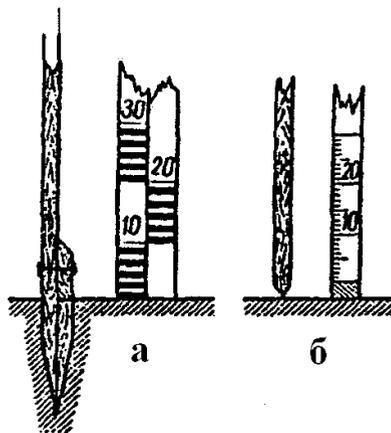


Рис. 7.11. Снегомерные рейки:
а – постоянные; б – переносные

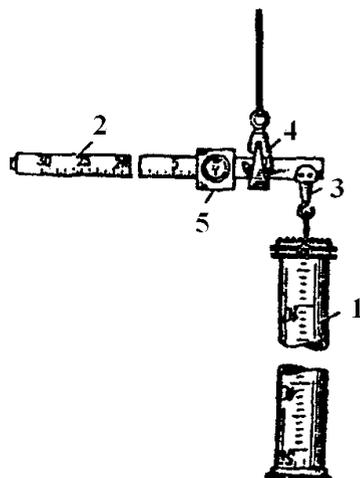


Рис. 7.12. Весовой снегомер:
 1 – снегосборник; 2 – масштабная линейка; 3 – крючок для подвешивания цилиндра; 4 – устройство для подвешивания; 5 – подвижный груз

7.4. Атмосферные осадки на территории Республики Беларусь

Беларусь относится к зоне достаточного увлажнения. Годовая сумма атмосферных осадков зависит от рельефа местности и составляет 500-600 мм в низинах и 600-700 мм – на равнинах и возвышенностях. Около 70 % осадков выпадает в теплую пору года (с апреля по октябрь) преимущественно в жидком виде. В осенне-зимний период преобладают обложные и морозящие осадки, в летний – ливневые. Общее количество суток с осадками (0,1 мм и более) – 160-190; значительные осадки наблюдаются реже: 1 мм и более – 100-120 суток, 5 мм и более – 30-40 суток, 10 мм и более – 12 суток. Количество суточных осадков за период наблюдений по отдельным пунктам достигает 80-150 мм. Суммарная продолжительность выпадения осадков – 1000-1400 часов в год. В каждый из осенне-зимних месяцев продолжительность выпадения осадков – в 2,5 раза большая, чем в летний. Общий объем осадков составляет 146 км³.

Максимум осадков (75-80 %) приходится на июнь-август. В среднем за год бывает 159-194 суток с осадками. Атмосферные осадки – важная характеристика климата: они влияют на характер водного режима территории. Количество осадков для некоторых метеостанций приведено в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Атмосферные осадки по материалам наблюдений метеостанций Беларуси

Метеостанции	Осадки, мм												за год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Шарковщина	28	26	28	35	48	69	76	76	60	46	40	32	564
Витебск	33	30	33	36	53	70	93	82	61	46	47	36	620
Минск	39	39	37	42	58	76	84	82	56	43	49	41	646
Слуцк	34	29	32	37	51	72	76	76	49	39	45	40	580
Гродно	29	30	28	35	45	77	70	78	44	35	40	34	545
Новогрудок	41	38	39	45	68	81	84	88	67	49	58	48	706
Могилев	40	35	37	43	57	77	82	78	54	49	47	45	644

Костюковичи	35	32	32	40	53	67	88	72	53	47	43	38	600
Пинск	30	32	31	41	54	65	83	67	49	43	41	37	573
Брест	28	31	33	36	50	76	71	72	46	37	36	32	548
Гомель	34	30	30	42	53	71	84	68	53	42	42	41	590
Мозырь	31	35	31	36	55	70	93	74	52	41	46	36	600

Около 70-80 % осадков дает дождь, 9-16 – снег, остальные осадки – смешанные. Летние осадки по каждому пункту в 25-33 случаях за год сопровождаются грозами, 1-2 раза – градом. Количество суток со снежным покровом увеличивается от 70 на юго-западе до 130 на северо-востоке. Максимальная высота снежного покрова (15-35 см) наблюдается в конце февраля – начале марта, увеличивается с запада на восток и на возвышенностях. Общий запас воды в снеге на конец зимы составляет 40-80 мм – в поле и в 1,2-1,5 раза больше – на защищенных от ветра местах. За год отмечается 55-82 суток с выпадением снега, 15-35 – с метелью, 8-25 – с гололедом, 11-30 – с изморозью. Значительное количество осадков и сравнительно невысокие температуры воздуха обуславливают повышенную влажность воздуха. Относительная влажность воздуха превышает 80 % во все сроки наблюдений в зимний и поздне-осенний период, а в остальные сезоны – в темную часть суток. В весенне-летний период днем влажность уменьшается и в 14 часов составляет 54-63 %. Минимальная относительная влажность наблюдается в мае. В отдельные годы в начале лета отмечается засуха. В среднем за год количество сухих дней (с влажностью 30 % и меньше в один из сроков наблюдения) – 3-5 на северо-востоке и наиболее крупных возвышенностях, 17-19 – на крайнем юго-востоке.

Весна продолжается в северном полушарии с момента весеннего равноденствия (21 марта) до момента летнего солнцестояния (21 или 22 июня). В обиходе весной называют условный период между зимой и летом, включающий март, апрель, май. Для этого времени года характерны усиление циклонической деятельности, завершение периода преобладания высокого давления, быстрое повышение температуры, специфические фенологические явления.

В Беларуси фенологическая весна начинается на юго-западе – в первой декаде, на северо-востоке – в конце марта с устойчивым переходом температуры воздуха через 0°C в сторону повышения и заканчивается соответственно в последнюю пятидневку апреля – в начале мая с переходом температуры через 10 °C в сторону повышения. Погода – неустойчивая, с частой сменой холодных и теплых воздушных масс. В начале мая обычно кончаются заморозки. Количество атмосферных осадков возрастает; увеличивается испарение; тает снежный покров; на реках проходят половодья; прилетают перелетные птицы; начинаются сельскохозяйственные работы. Как фенологический сезон весна делится на подсезоны: *раннюю весну, или снеготаяние* (начинается с сокодвижением у березы и заканчивается с набуханием почек калины); *оживление весны* (продолжается примерно до 1 мая); *разгар весны* (захватывает начало мая, когда прекращаются заморозки в воздухе, и заканчивается с зацветанием калины обыкновенной и облиствением березы). Гремят первые грозы.

Гроза – атмосферное явление, при котором в кучево-дождевых облаках, между ними или между облаком и землей возникают молнии, раздаются раскаты грома; часто сопровождается ливневым дождем (см. в статье «Ливень»), шквалистым ветром, реже – градом. В каждом пункте Беларуси за год бывает в среднем 25-33 суток с грозой, а над западными и северо-западными частями возвышенностей, над большими лесами и болотами – до 34-36 суток. Обычно грозы бывают с апреля по сентябрь, наиболее часто – в июне-июле, преимущественно во второй половине дня. Очень редко грозы бывают зимой (например, с 1936 г. в Минске и Гомеле они отмечены по 2 раза). Грозы в среднем продолжаются около 2 часов, примерно одна из десяти гроз – более 6 часов. Грозовые облака обычно имеют размеры 10-20 км, их верхняя поверхность находится на высоте около 9 км над землей. Грозы чаще наблюдаются на сравнительно небольшой площади, но каждый год бывают 3-4 случая, когда грозой охвачено более 20 % территории республики. От ударов молнии при грозе возможны пожары (в том числе лесные и на торфяниках), повреждаются линии связи и

электропередачи, отмечаются случаи гибели домашнего скота и людей (при нарушении правил безопасности). Сильные ливни с градом вредят посевам.

8. ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ

8.1. Основные силы, действующие в атмосфере

Атмосфера, ее состояние и динамика обусловлены действием ряда сил, основными из которых являются сила Кориолиса, сила земного притяжения, градиент атмосферного давления, центробежная сила, силы сопротивления перемещению воздушных масс и др.

Кориолисова сила – это фиктивная сила, используемая для объяснения движения тела во вращающихся системах отсчета, – например, движение воздушных масс или ракет над поверхностью Земли (рис. 8.1).

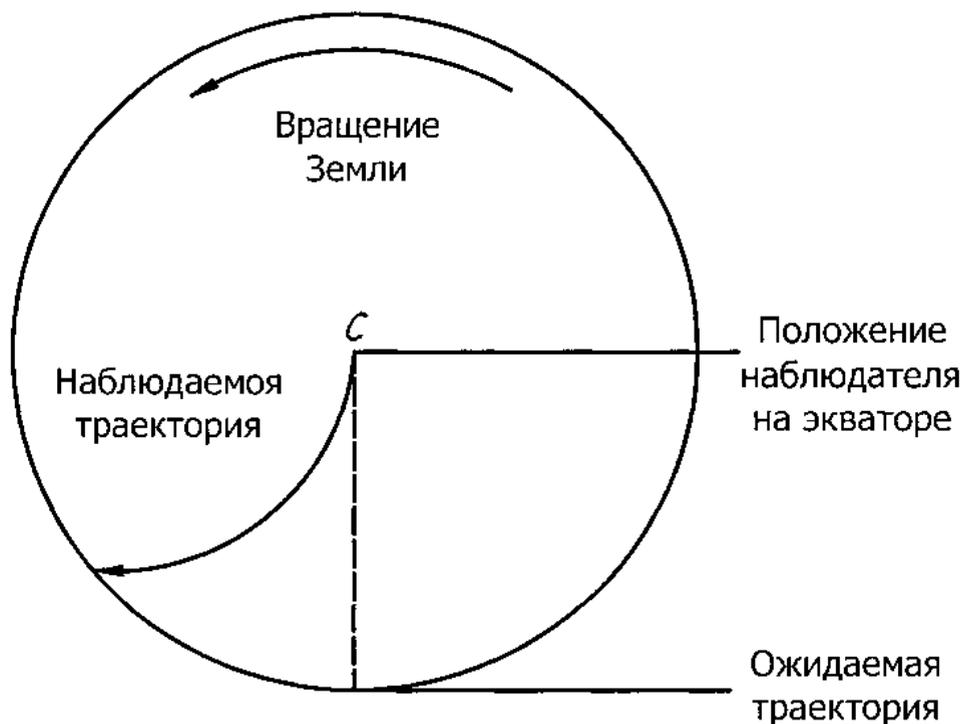


Рис. 8.1. Результат действия силы Кориолиса на предмет, движущийся с севера на юг

В результате вращения Земли точка на земном экваторе движется со скоростью около 1670 км/ч. Воздушная масса над этой точкой имеет ту же скорость и при удалении от экватора сохраняет ее. Однако, чем больше она удалена от экватора, тем меньший путь проходят за час расположенные под ней точки земной поверхности. В итоге земному наблюдателю кажется, что эта воздушная масса при движении на север отклоняется. Таким образом, поток воздуха и воды в северном полушарии при движении отклоняется вправо, а в южном – влево (рис. 8.2).

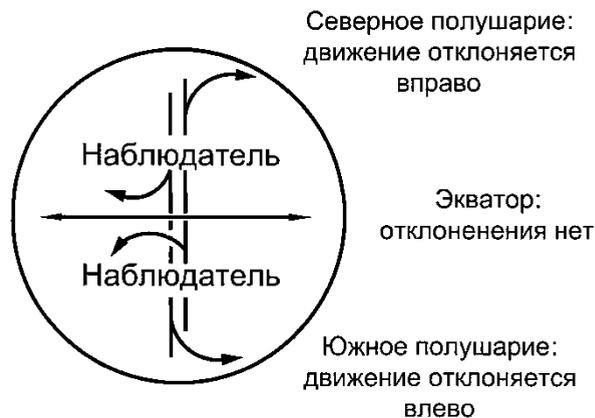


Рис. 8.2. Действие сил Кориолиса на различных широтах

Этот эффект лежит в основе закона Бейс-Баллота.
 Величина силы Кориолиса определяется по формуле

$$F_k = 2\omega u \sin\varphi,$$

где ω – угловая скорость вращения Земли;
 u – скорость воздушного потока;
 φ – географическая широта местности.

Из формулы видно, что с увеличением скорости воздушного потока сила Кориолиса возрастает. Она зависит также от географического положения рассматриваемой точки на местности. Наибольшее значение эта сила имеет на полюсе и убывает с уменьшением широты. На экваторе она равна нулю.

Сила земного притяжения, или гравитация, обусловлена величиной рассматриваемой массы и ускорением. Ее можно определить по формуле

$$F_{зп} = gM,$$

где g – ускорение земного притяжения, м/с^2 ;
 M – масса воздуха, кг.

Для количественной характеристики изменения давления по горизонтали пользуются понятием **горизонтального барического градиента** – отклонения изменения давления ($P_2 - P_1$) на единицу расстояния (ΔS)

$$\Gamma_p = \frac{P_2 - P_1}{\Delta S} = \frac{\Delta P}{\Delta S}.$$

Величина горизонтального барического градиента чаще всего измеряется в миллибарах на 100 км.

Отношение величины горизонтального барического градиента к единице массы воздуха (плотности воздуха) представляет собой силу барического градиента, или силу давления, под действием которой и происходит перемещение воздушных масс. Рассчитывается эта сила по формуле

$$F_p = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}.$$

Сила барического давления всегда направлена перпендикулярно изобарам в сторону низкого давления.

Как только некоторая масса воздуха начинает двигаться, на ее движение начинают оказывать влияние другие силы – отклоняющая сила инерции Земли, сила Кориолиса, сила трения и центробежная сила.

Сила трения возникает в результате взаимодействия движущегося воздуха с земной поверхностью и повышенной его турбулентности. Сила трения направлена в сторону, противоположную направлению движения воздуха. Ее величина равна

$$F_T = -K_T v,$$

где K_T – коэффициент трения, зависит от шероховатости подстилающей поверхности и высоты.

Если масса движется по криволинейной траектории, на ее движение оказывает влияние центробежная сила, направленная по радиусу кривизны траектории наружу, а ее величина определяется по формуле

$$F_{ц} = m v^2 / R,$$

где R – радиус кривизны траектории.

Сила Кориолиса и сила трения по величине соизмеримы с силой барического градиента. Центробежная сила при прямолинейном движении равна нулю, а при движении воздуха в циклонах и антициклонах имеет малую величину по сравнению с другими силами, и поэтому в практических расчетах не учитывается. Но ее учитывают при расчетах скоростей ветра в тропических циклонах, где она имеет величину больше силы Кориолиса.

Силы, действующие в атмосфере, приводят к развитию процессов по перемещению воздушных масс, к появлению и развитию различных метеорологических процессов.

8.2. Атмосферные циркуляции и возмущения

Для земной атмосферы характерны циркуляционные процессы, обусловленные горизонтальными и вертикальными потоками воздушных масс. Горизонтальные потоки возникают под влиянием атмосферного давления, изменяющегося в различных точках местности, вертикальные – конвекции, конвергенции, дивергенции различных уровней и плотности воздушных масс. Схема общей циркуляции атмосферы представлена на рис. 8.3.

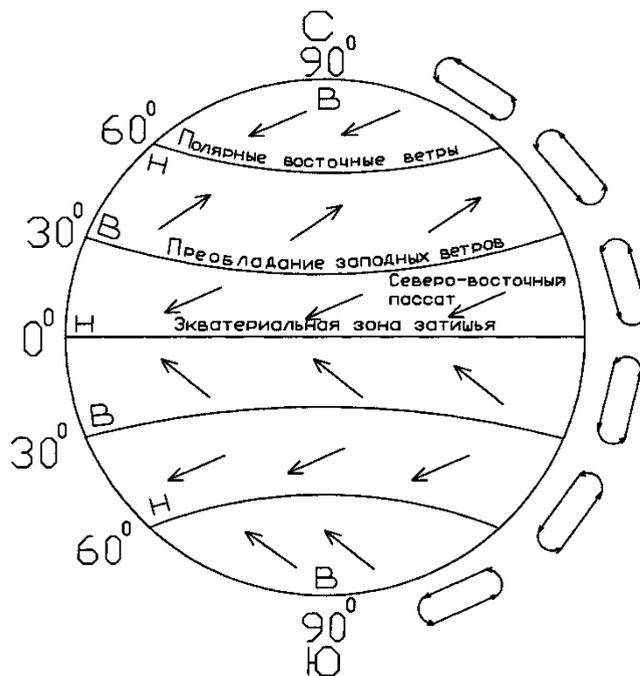


Рис. 8.3. Схема общей циркуляции атмосферы:
В – пояс высокого давления; *Н* – пояс низкого давления

При взаимодействии между собой воздушных масс разных плотностей, температур и влагосодержания, обладающих огромными запасами кинетической энергии, в атмосфере возникают циклонические движения, сопровождающиеся сильными ветрами, интенсивными осадками, молниями и громом. Эти движения на стадии своей зрелости приводят к возникновению бурь, которые являются результатом неустойчивого состояния воздушных масс. Каждая буря проходит несколько стадий развития и прекращается после того, как в нее перестает поступать новая энергия. Бури отличаются геометрическими параметрами, динамикой протекающих в них процессов, и поэтому имеют различные названия: грозы, торнадо, ураганы и др.

Грозы представляют собой местные атмосферные возмущения, проявляющиеся при быстрых и сильных конвективных движениях воздуха во время формирования кучево-дождевых облаков (рис. 8.4).

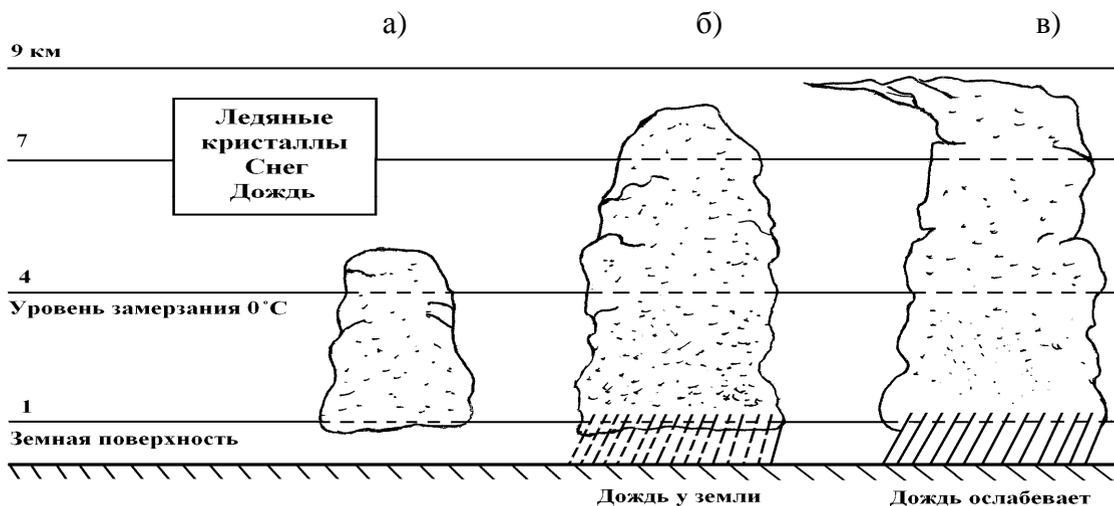


Рис. 8.4. Стадии развития грозы:
а – стадия кучевого облака; *б* – зрелости; *в* – разрушения

Электрическое строение грозовых облаков представлено на рис. 8.5.

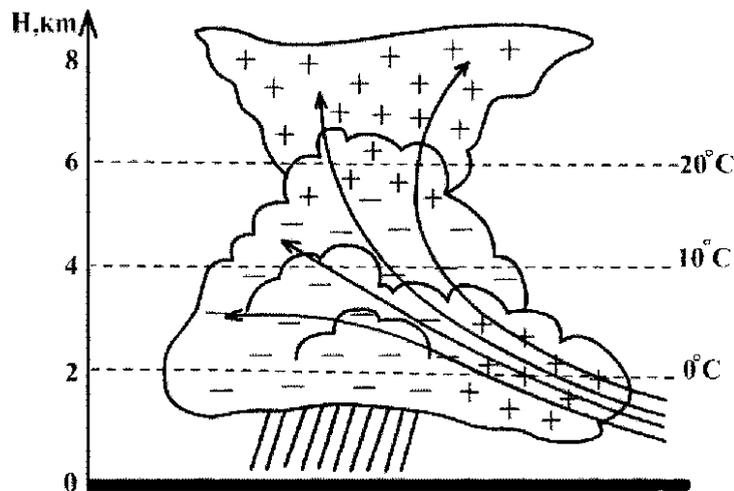


Рис. 8.5. Электрическое строение грозового облака

Грозовые облака, как правило, сопровождаются молниями, громом, ливневыми дождями, выпадением града и ледяных частиц. Гроза возникает в нерегулярных ячеистых группах кучевых облаков, достигающих 1,5-8 км в длину и 7,5 км по вертикали. Грозовые атмосферные явления длятся в каждой группе облаков в течение 15-20 минут. Продолжительные грозы возникают в результате последовательного образования групп облаков и часто сопровождаются сильным шквалистым ветром.

Торнадо, смерч – сильнейший шторм с круговым ветром, вызванный грозой, когда воздушный поток в быстрорастущем кучевом облаке стекает к его основанию и спирально закручивается вокруг центрального ядра чрезвычайно низкого давления. От материнского облака отделяется вихревой волнообразный отросток, иногда достигающий поверхности Земли. Торнадо – сравнительно небольшое образование в атмосфере. Его обычно небольшой диаметр – от 50 до 500 м. Продвигаясь со скоростью 20-55 км/ч с оглушительным шумом, торнадо обладает огромной силой. Его разрушительный эффект определяется вращательной скоростью движения воздуха, достигающей 40 км/ч, и резким перепадом давления в вихре. Большинство штормов длятся не более 10-15 минут, хотя наиболее устойчивые не прекращаются в течение нескольких часов. В каждом отдельном пункте продолжительность торнадо обычно не превышает одной минуты. Они могут происходить во многих местах на Земле, но более всего распространены в Западной Африке, в начале и конце сезона дождей, и в центральных районах США. Над водой торнадо может вызвать водяной смерч.

В северном полушарии воздух в торнадо вращается против часовой стрелки, в южном – по часовой стрелке. Средний путь торнадо равен 25 км, но может достигнуть и сотен километров.

Ураганы (тайфун, тропический циклон) представляют собой быстро вращающиеся массы воздуха с определенным распределением ветра. Диаметр урагана колеблется в широких пределах и может достигать 480-960 км. Диаметр глаза – центра урагана – 24-40 км. Физические свойства воздуха урагана – одинаковая температура, давление, скорость ветра, характеристики облачности и т.д. – концентрически распределены вокруг его центра. Скорость ветра в его центральной части может достигать 320 км/ч. Ураганы, тропические циклоны, тайфуны или просто циклоны (в разных районах их называют по-разному) образуются в экваториальной части земного шара – в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах, в Бенгальском и Мексиканском заливах и в других местах со значительными турбулентными процессами в атмосфере.

К числу других атмосферных возмущений относятся *водяные смерчи, волны холода, вихри и метели*. Их проявления различны в разных районах, но все они возникают в результате неустойчивости воздушных масс и взаимодействия атмосферы с сушей и водоемами.

Особыми атмосферными явлениями можно считать *полярное сияние* – свет, излучаемый возбужденными атомами атмосферных газов, и *молния* – искровой разряд между соседними частями облака или между отрицательно заряженной Землей и положительно заряженной центральной частью облака. Гром, сопровождающий молнию, возникает в результате выделения огромной энергии во время электрического разряда.

8.3. Воздушные массы и атмосферные фронты

8.3.1. Воздушные массы

В процессе общей циркуляции атмосферы воздух тропосферы расчленяется на отдельные *воздушные массы* – ограниченные порции воздуха, которые сформировались в определенном районе и постепенно приобрели свойства, характерные для этого района. Перемещаясь в другие области Земли, воздушные массы переносят в эти области и свой режим погоды.

Воздушная масса движется как одно целое в одном из основных течений общей циркуляции атмосферы или же длительно находится над одним и тем же районом в малоподвижном состоянии (чаще всего – в устойчивом антициклоне). Горизонтальные размеры воздушных масс измеряются тысячами километров. По вертикали они могут простираться от 1-2 км до верхней границы тропосферы и даже захватывать стратосферные слои.

Горизонтальная циркуляция атмосферы приведена на рис. 8.6, вертикальная – на рис. 8.7.

Существует 4 основных типа воздушных масс с различным зональным положением очагов (областей Земли), где они формируются:

- 1) массы *арктического* (в южном полушарии – *антарктического*) воздуха;
- 2) массы *полярного* (или *умеренного*) воздуха;
- 3) массы *тропического* воздуха;
- 4) массы *экваториального* воздуха.

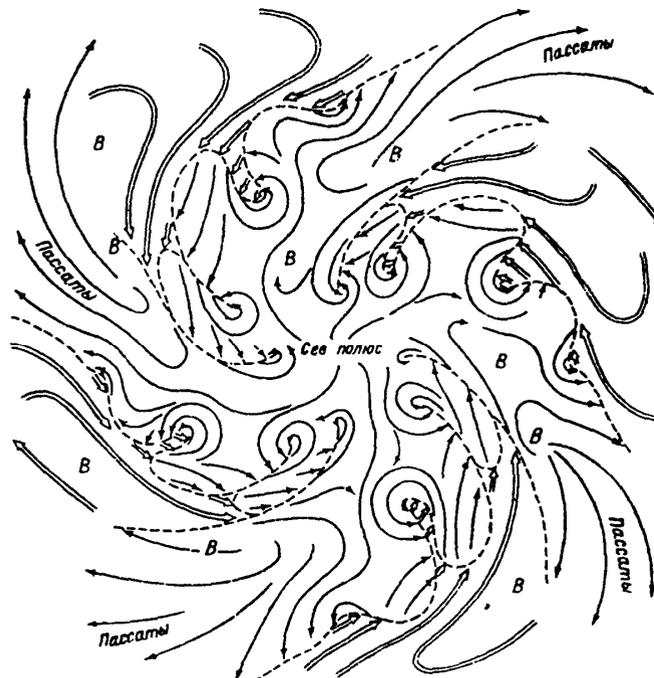


Рис. 8.6. Схема горизонтальной циркуляции атмосферы (по Бьеркнесу и Сульбергу)

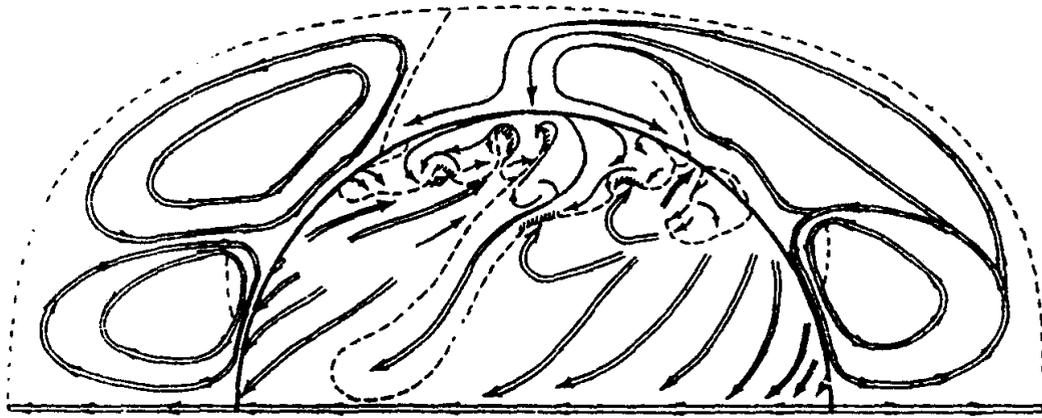


Рис. 8.7. Схема вертикальной циркуляции атмосферы

Для каждого из этих типов характерен свой интервал значений температуры у земной поверхности и на высоте, влажности, дальности видимости и пр. Свойства воздушных масс при их перемещении из одних районов в другие непрерывно меняются; происходит трансформация воздушных масс.

Различают воздушные массы теплые, холодные и местные.

Холодными массами называются воздушные массы, перемещающиеся с более холодной земной поверхности на более теплую. На своем пути холодная воздушная масса вызывает похолодание в тех районах, в которые она приходит. Но в пути она сама прогревается, притом преимущественно – снизу, от земной поверхности. Поэтому в ней возникают большие вертикальные градиенты температуры и развивается конвекция с образованием кучевых и кучево-дождевых облаков с выпадением ливневых осадков.

Теплыми массами называются воздушные массы, перемещающиеся на более холодную поверхность. Они приносят потепление, но сами охлаждаются снизу, отчего в их нижних слоях создаются малые вертикальные градиенты температуры. Конвекция в них не развивается; преобладают слоистые облака и туманы.

Местные воздушные массы длительно находятся в одном районе. Свойства таких масс определяются нагреванием или охлаждением снизу в зависимости от сезона.

Воздушные массы все время формируются заново, и постоянно опять теряют свою индивидуальность. При перемещении в другой географический район они меняют свой характер, трансформируются: например, арктический воздух, переходя в умеренные широты, превращается в полярный; морской воздух на суше – в континентальный и т.п.

Наиболее устойчивые, медленно меняющиеся свойства воздушных масс называют **консервативными свойствами**. К ним относятся, прежде всего, потенциальная температура, эквивалентно-потенциальная температура, удельная влажность.

Смежные воздушные массы разделены между собой сравнительно узкими переходными зонами, сильно наклоненными к земной поверхности, которые называются **атмосферными фронтами**. Длина таких зон – тысячи, ширина – десятки километров. Вверх фронты прослеживаются на несколько километров, нередко – до самой стратосферы.

8.3.2. Атмосферные фронты

В атмосфере постоянно создаются такие условия, когда две воздушные массы с разными свойствами располагаются одна подле другой и при этом разделены узкой переходной зоной – фронтом. Атмосферные фронты между воздушными массами основных географических типов называют **главными фронтами** в отличие от менее значительных **вторичных фронтов** между массами одного и того же географического типа. Главные фронты между арктическим и полярным

воздухом носят название *арктических фронтов*, между полярным и тропическим воздухом – *полярных фронтов*, между тропическим и экваториальным воздухом – *тропических фронтов* и т.д. (рис. 8.8).

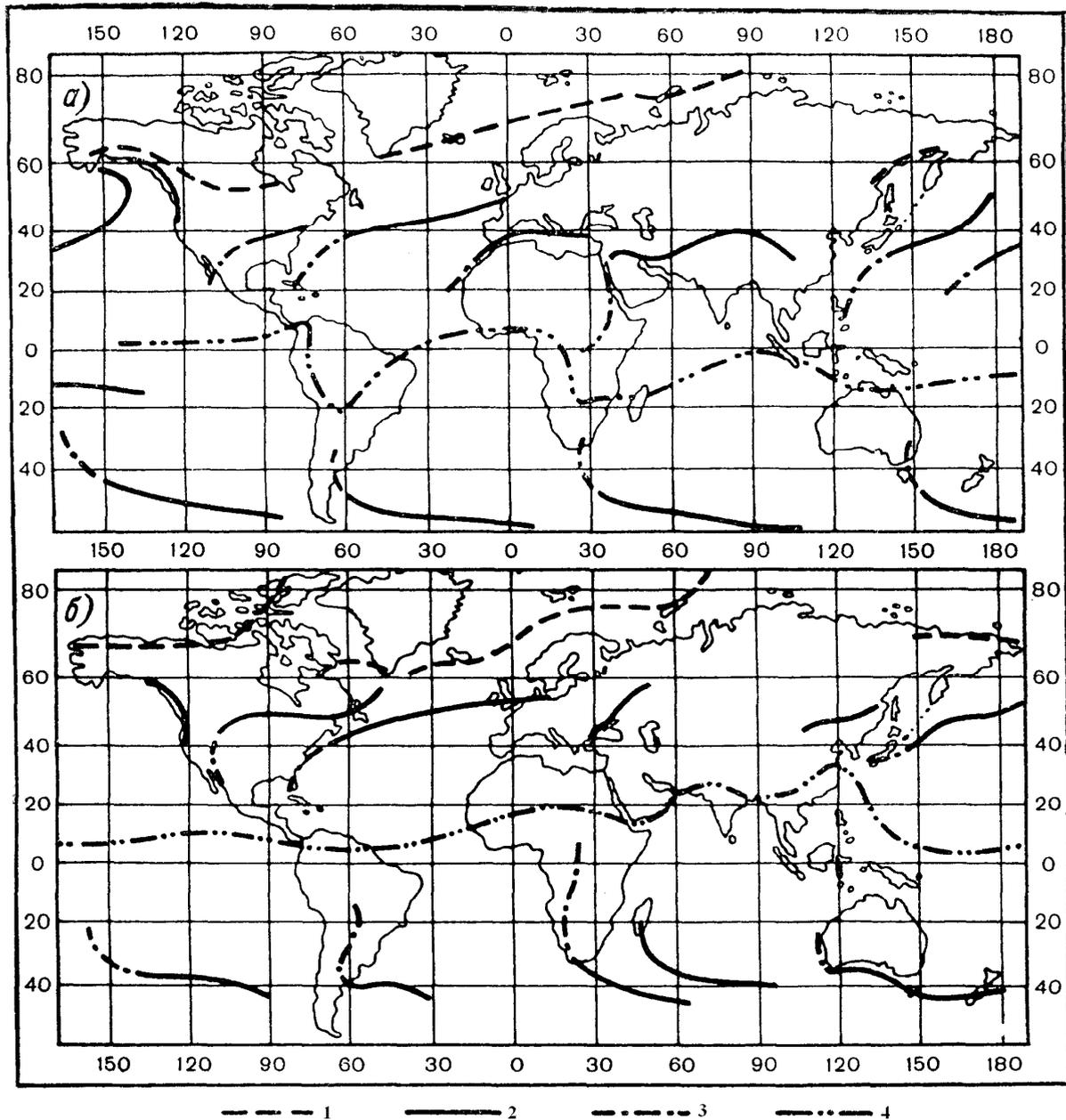


Рис. 8.8. Климатологические фронты в январе (а) и июле (б):
 1 – арктический; 2 – умеренный; 3 – пассатный (продолжение фронта умеренных широт в тропическую зону); 4 – тропический

С атмосферными фронтами связаны особые явления погоды. Восходящие движения воздуха в зонах фронтов приводят к образованию обширных облачных систем, из которых выпадают осадки на больших площадях. Огромные атмосферные волны, возникающие в воздушных массах по обе стороны от фронта, приводят к образованию атмосферных возмущений вихревого характера – *циклонов* и *антициклонов*, определяющих режим ветра и другие особенности погоды. Особенно важны в этом отношении полярные фронты.

Фронты постоянно возникают и исчезают (размываются) вследствие определенных особенностей атмосферной циркуляции. Вместе с ними формируются, меняют свойства и, наконец, теряют свою индивидуальность воздушные массы.

В зоне фронта при переходе от одной воздушной массы к другой температура, ветры и влажность воздуха меняются более или менее резко.

Рассмотрим основные свойства фронтов.

Зона фронта всегда имеет определенную ширину в горизонтальном направлении и толщину по вертикали. Однако и ширина, и толщина фронта очень невелики в сравнении с размерами разделяемых ими воздушных масс. Поэтому, идеализируя действительные условия, можно представлять фронт как поверхность раздела между воздушными массами. В пересечении с земной поверхностью фронтальная поверхность, очевидно, образует линию фронта, которую также кратко называют фронтом. При такой идеализации можно рассматривать фронт также и как поверхность разрыва, понимая под этим, что температура и некоторые другие метеорологические элементы в зоне фронта резко меняются.

Очень важным является то обстоятельство, что фронтальные поверхности проходят в атмосфере наклонно (рис. 8.9).

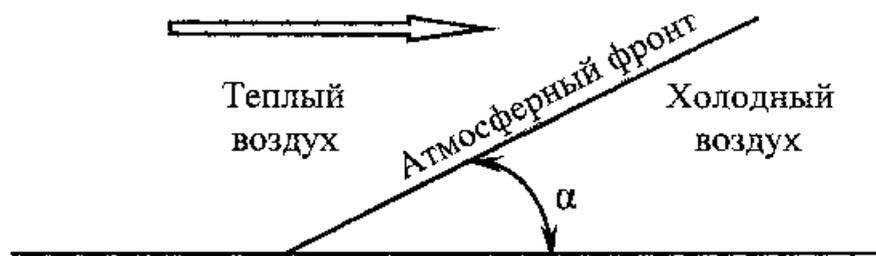


Рис. 8.9. Схема образования атмосферного фронта

Если бы обе воздушные массы были неподвижными, поверхность фронта между ними проходила бы горизонтально, параллельно горизонтальным изобарическим поверхностям; теплый воздух лежал бы при этом над холодным. Но, поскольку воздушные массы движутся, поверхность фронта может существовать и сохраняться только при условии, что она наклонена к поверхности уровня, и, стало быть, к уровню моря. При этом угол наклона зависит от скоростей, ускорений и температур воздушных масс, а также от географической широты и ускорения тяжести.

Теория и опыт показывают, что углы наклона фронтальных поверхностей к земной поверхности очень малы – порядка угловых минут. Воздушные массы, разделяемые такой поверхностью, располагаются не только одна рядом с другой, но и одна над другой. При этом холодный воздух лежит под теплым воздухом в виде клина.

С обеих сторон от поверхности фронта давление одинаковое. Но при переходе из одной воздушной зоны в другую, с другими температурами и скоростями, изобарические поверхности меняют свое направление, «ломаются»; это значит, что на поверхности фронта испытывают разрыв барические градиенты. С учетом основного уравнения статики, из которого следует, что барическая ступень в теплом воздухе больше, чем в холодном (и, значит, больше вертикальное расстояние между изобарическими поверхностями), при географическом ветре в обеих воздушных массах различают три основных типа распределения давления и скорости ветра около поверхности фронта (рис. 8.10) в зависимости от их величины и направления.

Из рис. 8.10 видно, что, пересекая поверхности фронта, изобарические поверхности прогибаются, принимая вид желобов, открытых вверх.

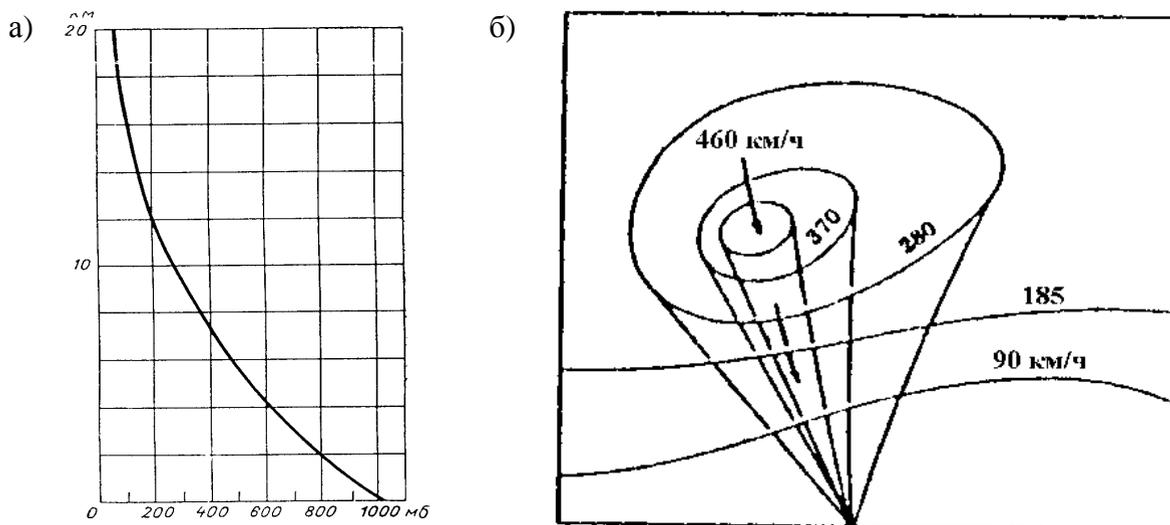


Рис. 8.10. Распределение давления (а) и скорости ветра (б)

Это распределение давления представляет собой вид ложбины в барическом поле – явной (случай I) или замаскированной (случаи II и III). Легко убедиться, что при этом скорости воздушных течений по обе стороны от линии фронта распределяются следующим образом (рис. 8.11).

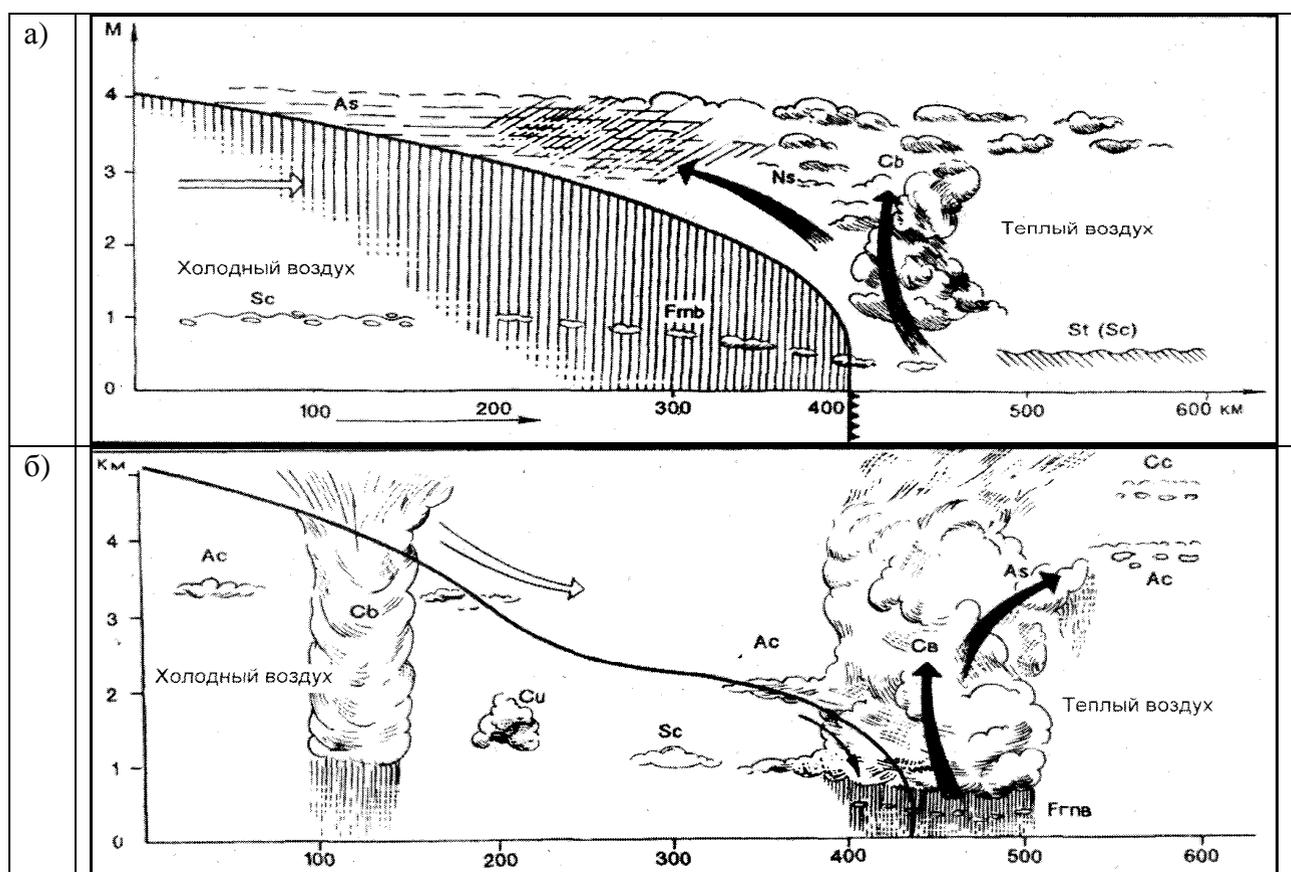


Рис. 8.11. Распределение воздушных масс на линии фронта:
 а – при медленном перемещении холодного воздуха;
 б – при быстром перемещении

Если холодный воздух находится на севере, а теплый – на юге, и следовательно, поверхность фронта наклонена к северу, трем случаям распределения давления соответствуют три случая распределения ветра:

- 1) западное течение в теплом воздухе и восточное – в холодном;
- 2) оба течения – западные, причем в теплом воздухе – более сильное;
- 3) оба течения – восточные, причем в холодном воздухе – более сильное.

Атмосферные фронты не существуют постоянно. Они возникают заново, обостряются, размываются, исчезают. Однако условия для их образования всегда существуют в тех или иных частях атмосферы, и потому фронты являются не редкой случайностью, а постоянной, повседневной особенностью атмосферы.

Для уяснения этого рассмотрим схему общей циркуляции атмосферы. Воздушные течения в ней вызываются неравномерным распределением солнечного тепла на поверхности Земли, приводящим к неодинаковому нагреванию почвы и воздуха в различных поясах Земного шара. Особенно значительные различия в нагревании создаются между низкими и высокими широтами, образуя перепады давления воздуха, приводящие к обмену воздушными массами между низкими и высокими широтами. Между этими широтами создается круговорот воздуха, называемый *общей циркуляцией атмосферы*.

Различия в характере подстилающей поверхности, а также вращение Земли вокруг своей оси, в сильной степени изменяют простую циркуляцию воздуха. Неоднородность земной поверхности вызывает неодинаковое нагревание различных ее участков (суши, моря), приводящее к образованию различий в давлении воздуха, и создает в разных местах различное трение воздуха о земную поверхность. Вращение Земли вокруг оси вызывает отклонение движения воздушных масс от направления градиентов давления. Вследствие этих причин круговорот воздуха между полюсами и экватором разделяется на отдельные связанные между собой частные круговороты, что значительно усложняет характер общей циркуляции атмосферы. Особенно сильно влияют на характер общей атмосферной циркуляции циклоны и антициклоны, зарождающиеся в умеренных и высоких широтах.

Обычный механизм образования в атмосфере фронтов (фронтотенеза) – кинематический: фронты возникают под влиянием полей движения воздуха, сближающих между собой воздушные частицы с различной температурой и другими свойствами. В определенной зоне горизонтальные градиенты температуры растут, и происходит образование резкого фронта вместо постепенного перехода между воздушными массами. Точно так же уже существующие фронты могут размываться, т.е. превращаться в широкие переходные зоны, и сглаживаться.

Фронты в некоторых случаях могут возникать и под непосредственным тепловым влиянием подстилающей поверхности, например, вдоль кромки льдов или на границе снежного покрова.

8.3.3. Типы атмосферных фронтов

В реальных условиях фронты, как правило, не параллельны воздушным течениям. Ветер по обе стороны фронта имеет составляющие, нормальные к фронту, поэтому сами фронты не остаются в неизменном положении, а перемещаются.

Атмосферный фронт может перемещаться в сторону либо более холодного воздуха, либо более теплого.

Если линия фронта перемещается над земной поверхностью в сторону более холодного воздуха, это значит, что клин холодного воздуха отступает, и освобожденное им место занимает более теплый воздух. Такой фронт называют *теплым фронтом* (рис. 8.12).

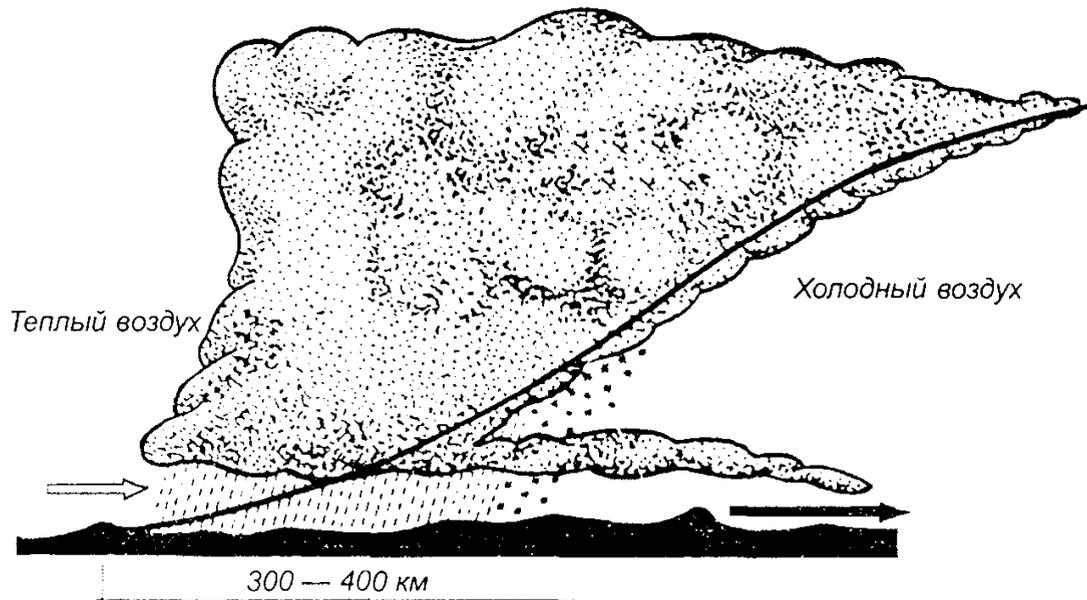


Рис. 8.12. Схема перемещения теплого фронта

Прохождение теплого фронта через место наблюдения приводит к смене холодной воздушной массы теплой, а следовательно, к повышению температуры и к определенным изменениям других метеорологических элементов.

Если линия атмосферного фронта перемещается в сторону теплого воздуха, это значит, что клин холодного воздуха продвигается вперед, и теплый воздух перед ним отступает либо вытесняется вверх наступающим холодным клином. Такой фронт называют **холодным фронтом** (рис. 8.13).

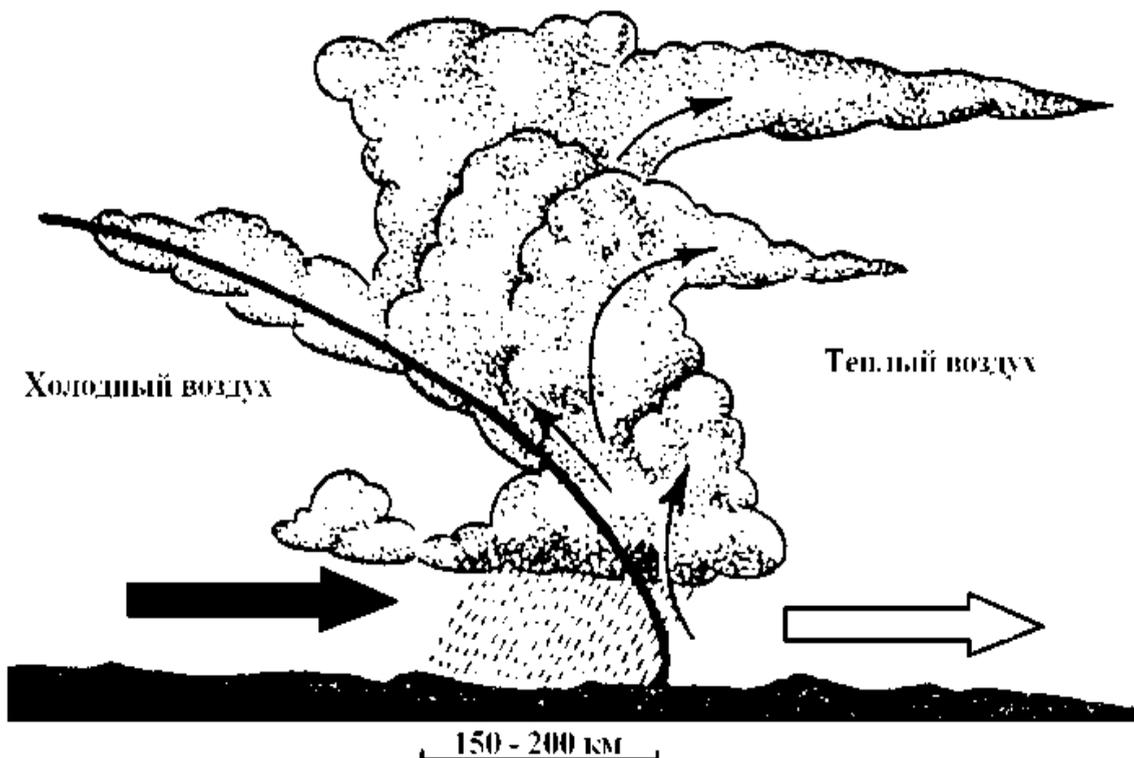


Рис. 8.13. Схема перемещения холодного фронта

Прохождение такого фронта создает смену теплой воздушной массы на холодную и в связи с этим – понижение температуры и резкие изменения других метеорологических элементов.

В зонах атмосферных фронтов (на фронтальных поверхностях) действуют вертикальные составляющие скорости движения воздуха. Нередко возникает ситуация, когда теплый воздух находится в состоянии восходящего скольжения, т.е. одновременно с горизонтальным движением еще перемещается вверх над клином холодного воздуха. Именно с этим связано развитие над фронтальной поверхностью облачной системы, из которой выпадают осадки.

Движение атмосферных фронтов является главной причиной быстрых и разнообразных изменений погоды.

Теплый фронт образуется, когда масса теплого воздуха (обычно влажного) надвигается на более холодную и сухую воздушную массу. Поэтому приближению теплого фронта предшествует постоянное понижение атмосферного давления. Затем последовательно появляются перистые и перисто-слоистые облака, которые при приближении теплого фронта к данному району сменяются облаками среднего яруса. Высокослоистые и высококучевые облака могут полностью закрыть небо. Перед самым фронтом появляются слоисто-кучевые и слоисто-дождевые облака, имеющие значительную вертикальную протяженность. Если выпадают осадки, то не особенно сильные, но непрерывные. После прохождения теплого фронта наступает прояснение, сохранение сплошной или незначительной облачности.

Холодный атмосферный фронт обычно создает погоду в гораздо более узкой полосе местности, чем теплый. Он образуется тогда, когда северные ветры приносят холодный воздух в область, ранее занятую теплым воздухом. С приближением холодного фронта давление понижается, и когда он подойдет, давление растёт, температура резко падает, скорость ветра увеличивается. Летом холодному фронту предшествует полоса сильных шквалов и гроз, являющихся результатом быстрой конвекции воздуха непосредственно перед фронтом.

Теплые и холодные фронты являются участками *главных фронтов*, т.е. фронтов между воздушными массами перечисленных выше основных типов. Различают следующие типы главных фронтов:

- а) арктические;
- б) полярные;
- в) тропические.

Южная граница арктической воздушной массы называется *арктическим фронтом* (АФ), южная (в северном полушарии) граница полярной воздушной массы – *полярным фронтом* (ПФ). Арктический фронт есть граница между арктическим и полярным воздухом, а полярный – между полярным и тропическим воздухом. Граница между тропическим и экваториальным воздухом называется *тропическим фронтом* (ТФ).

От главных фронтов отличаются *вторичные фронты*, находящиеся внутри основной воздушной массы, – например, отделяющие континентальный полярный воздух от морского полярного. Атмосферные фронты в тропосфере все время возникают заново и размываются.

Стационарный фронт образуется в том случае, когда атмосферный фронт может оставаться неподвижным в течение нескольких суток. В некоторых случаях он снова начинает двигаться, а иногда размывается. При стационарировании фронта погода обычно характеризуется слабым ветром и осадками по всему району, охваченному влиянием этого фронта.

Фронты окклюзии (рис. 8.14) являются следствием наложения одного фронта на другой.

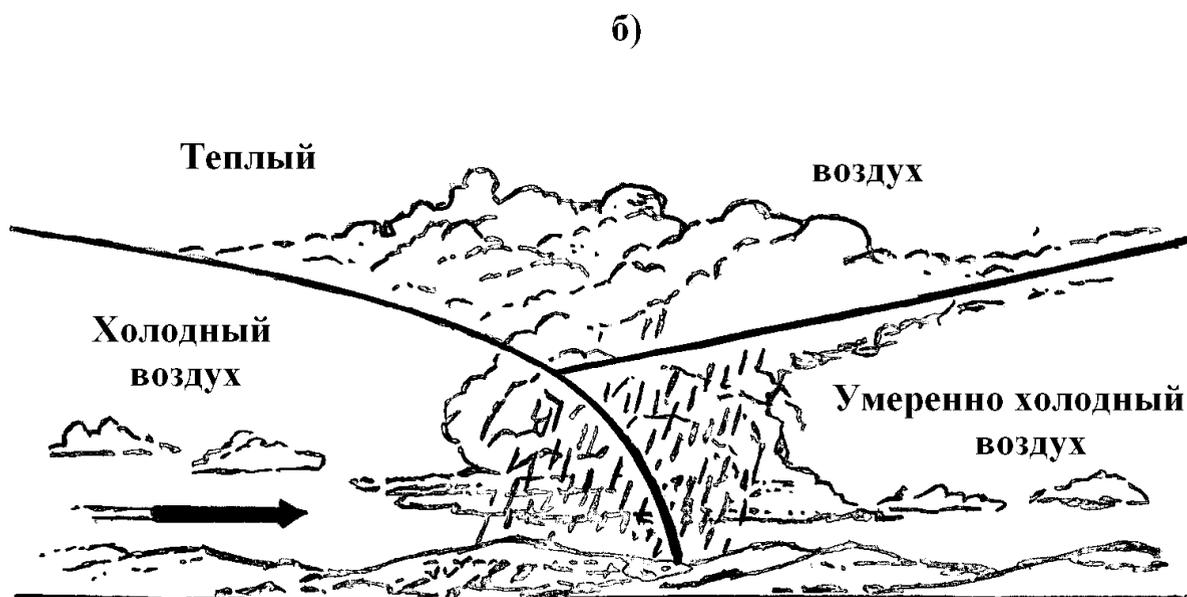
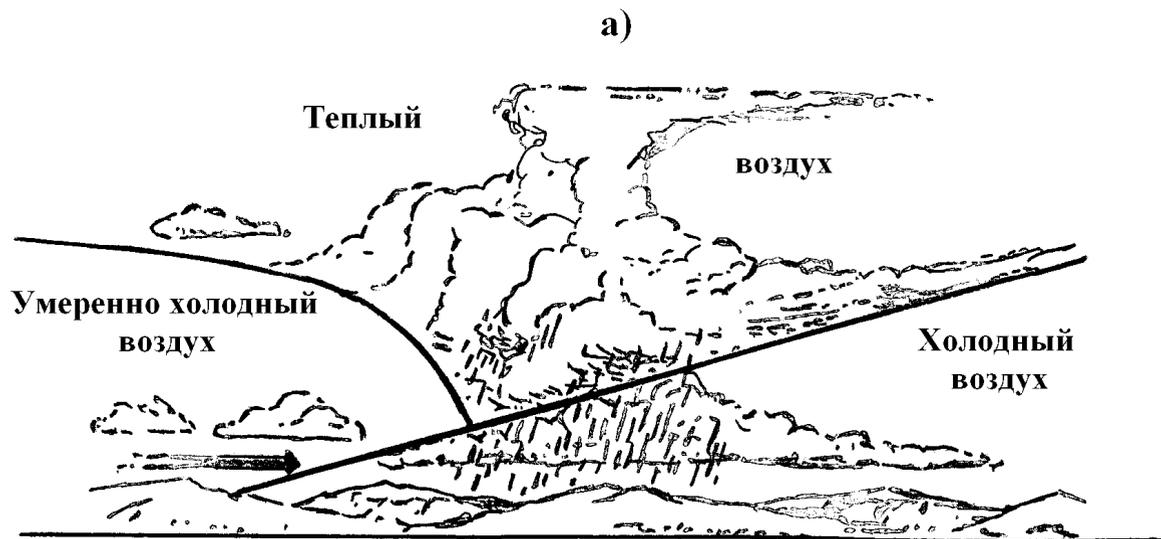


Рис. 8.14. Фронты окклюзии:
 а – теплый с неустойчивой теплой воздушной массой;
 б – холодный с устойчивой воздушной массой

Между фронтами в этом случае находится большая масса воздуха, значительно более теплого, чем остальной окружающей воздух. На таких фронтах часто располагаются глубокие волновые циклоны. Фронт окклюзии в конечном итоге превращается во фронтальную зону, обширную и размытую, а затем постепенно полностью исчезает.

8.4. Ветры

8.4.1. Природа возникновения и классификация ветров

Ветер – это горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности.

Ветры возникают из-за разницы атмосферного давления, называемой *барическим градиентом*. Они никогда не дуют точно из области высокого давления в сторону низкого, смещаясь от действия силы Кориолиса (рис. 8.15).

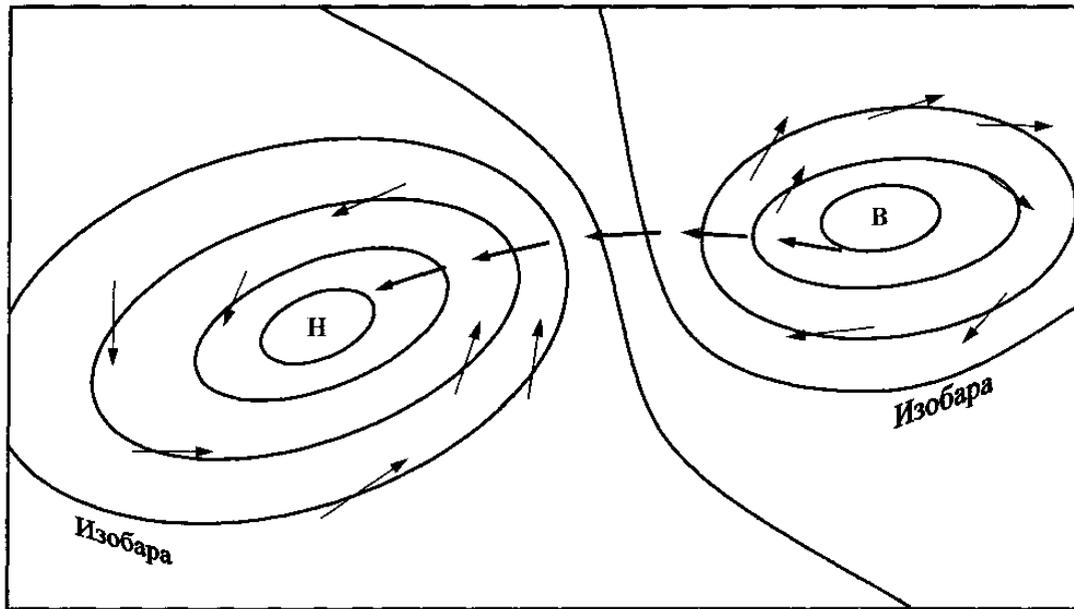


Рис. 8.15. Перемещение воздуха из зоны высокого давления (В) в зону низкого (Н)

Ветры, направленные из субтропиков к полюсам, становятся *вестами*, а к экватору – восточными *пассатами*. Ветры, возникающие на большой высоте и определяемые исключительно барическим градиентом и силой Кориолиса, называются *географическими*. Ближе к поверхности Земли закономерности движения воздушного потока усложняются, так как он испытывает влияние не только нагревания и охлаждения (что приводит к изменению барического градиента), но и характера рельефа, соотношения суши и моря и многих других факторов. Ветер над большими площадями образуют обширные воздушные течения, например, *муссоны*. Местная циркуляция, связанная со специфическими формами рельефа, формирует *морские и береговые бризы* (рис. 8.16), *горные и долинные ветры* (рис. 8.17), *фены, чинуки* (рис. 8.18). Схема бризовой циркуляции атмосферного воздуха представлена на рис. 8.19.

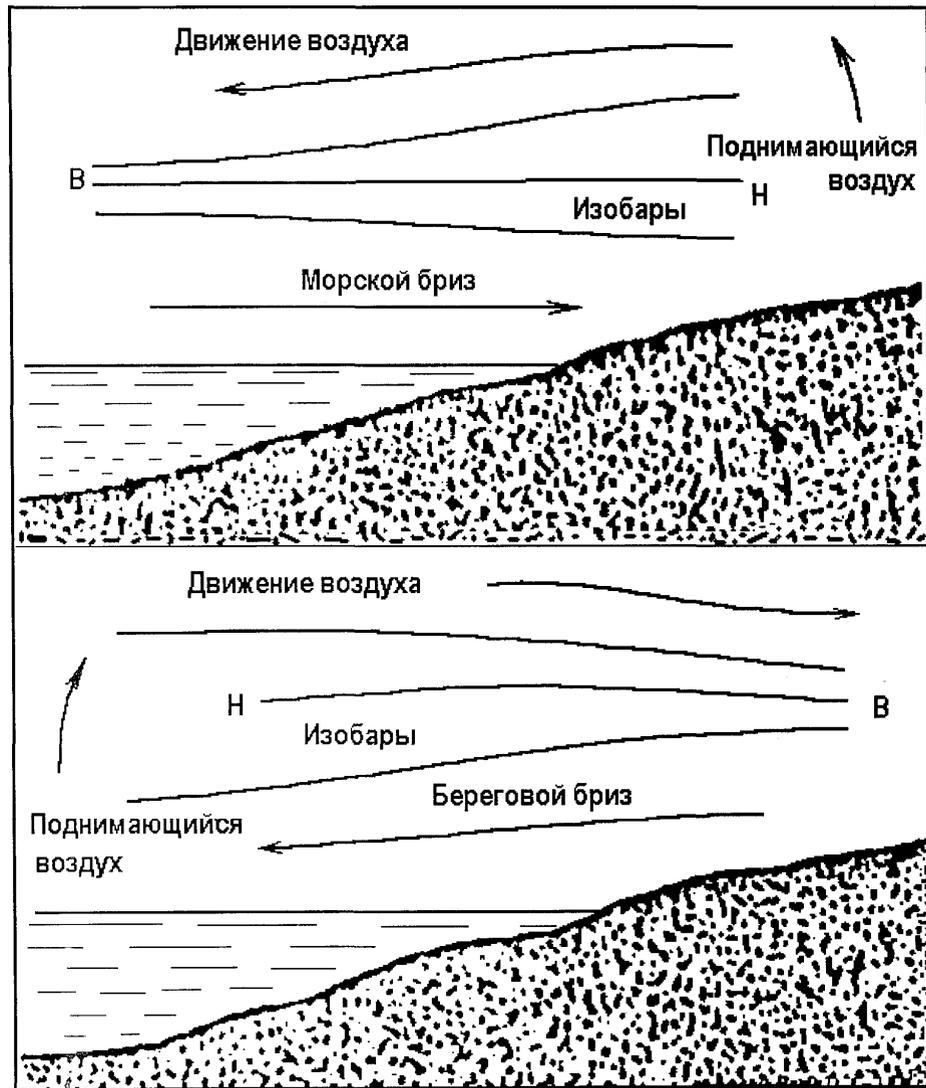


Рис. 8.16. Морской и береговой бризы, возникающие в результате различия в удельной теплоемкости суши и водоема, а также в нагревании водоема и соседней с ней суши

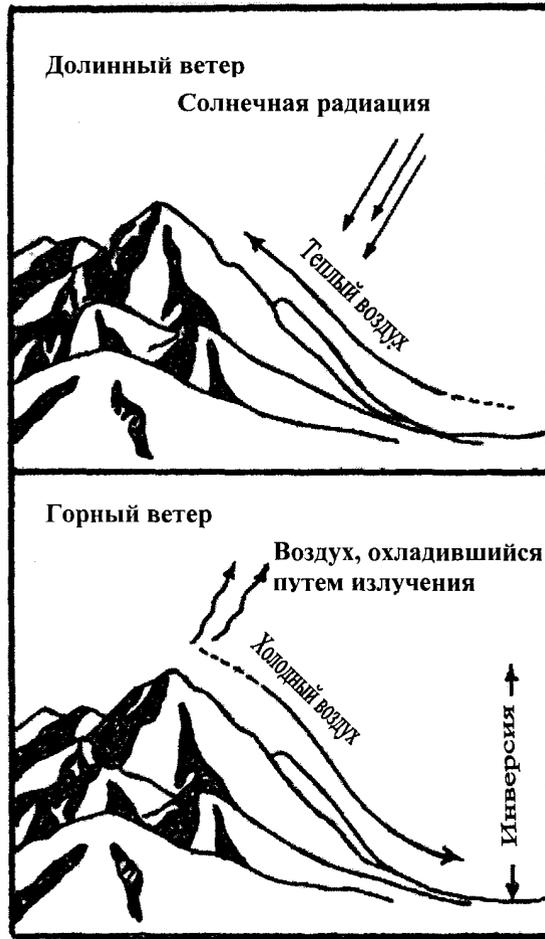


Рис. 8.17. Движение воздуха при горном и долинном ветре

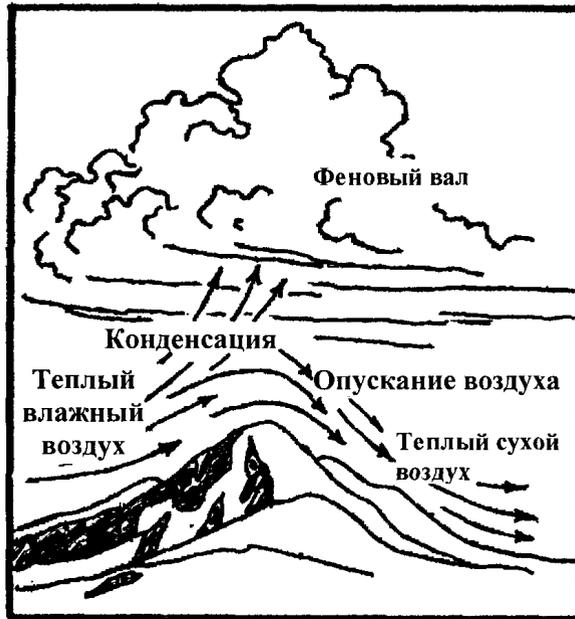


Рис. 8.18. Возникновение фена или чинука

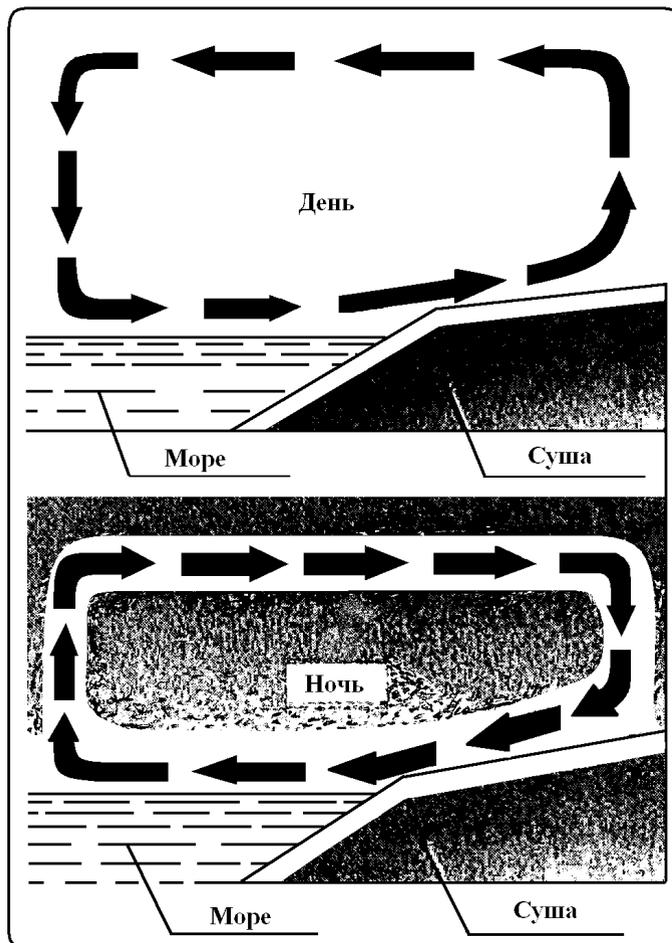


Рис. 8.19. Схема бризовой циркуляции атмосферы

8.4.2. Характеристики ветра и методы их определения

Ветры классифицируются на основании шкалы Бофорта (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Шкала силы ветра по Бофорту

Балл ветра	Скорость, м/с	Название ветра по его силе	Примеры для оценки скорости
1	2	3	4
0	0 – 0,5	Штиль	Дым поднимается отвесно; листья неподвижны
1	0,6 – 1,7	Тихий	По флажку направление ветра еще определить нельзя, но по ощущению ветер уже есть; столб дыма слегка отклоняется
2	1,8- 3,3	Легкий	Дуновение ветра чувствуется лицом; листья шелестят; флажок начинает подниматься
3	3,4 – 5,2	Слабый	Листья и тонкие ветви деревьев все время колышутся; флажок развеивается
4	5,3 – 7,4	Умеренный	Ветер поднимает пыль и приводит в движение тонкие ветки деревьев; флажок вытягивается

5	7,5 – 9,8	Свежий	Качаются тонкие стволы деревьев; на воде появляются волны с гребешками; возникает свист в ушах
6	9,9 – 12,4	Сильный	Качаются тонкие сучья деревьев; гудят телеграфные провода; трудно пользоваться зонтиком; свистит около неподвижных предметов
7	12,5 – 15,2	Крепкий	Качаются стволы деревьев; гнутся большие ветки; при ходьбе против ветра испытывается заметное сопротивление
8	15,3 – 18,2	Очень крепкий	Ветер ломает тонкие ветки и сухие сучья деревьев, затрудняет движение
9	18,3 – 21,5	Шторм	Ветер вызывает небольшие разрушения, срывает дымовые трубы и черепицу, ломает деревья
10	21,6 – 25,1	Сильный шторм	Ветер вызывает значительные разрушения, вырывает с корнем деревья
11	25,2 – 29,0	Жестокий шторм	Большие разрушения
12	Более 29,0	Ураган	Опустошения

На метеорологических станциях ветер оценивается *направлением* и *скоростью*. Направлением ветра принято считать ту сторону горизонта, откуда дует ветер. На практике используется 16-румбо-вая система установления направления ветра (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Названия, обозначения и градусное выражение румбов

Название	Обозначения		Градусы	
	русское	международное	от	до
Северо-северо-восточный	С-СВ	NNE	13	33
Северо-восточный	СВ	NE	34	56
Восточно-северо-восточный	В-СВ	ENE	57	78
Восточный	В	E	79	101
Восточно-юго-восточный	В-ЮВ	ESE	102	123
Юго-восточный	ЮВ	SE	124	146
Юго-юго-восточный	Ю-ЮВ	SSE	147	168
Южный	Ю	S	169	191
Юго-юго-западный	Ю-ЮЗ	SSW	192	213
Юго-западный	ЮЗ	SW	214	236
Западно-юго-западный	З-ЮЗ	WSW	237	258
Западный	З	W	259	281
Западно-северо-западный	З-СЗ	WNW	282	303
Северо-западный	СЗ	NW	304	326
Северо-северо-западный	С-СЗ	NNW	327	348
Северный	С	N	349	11

Отсчет направления ветра начинается с севера и продолжается по часовой стрелке. Скорость ветра измеряется в метрах в секунду (м/с), в километрах в час (км/ч) или в баллах.

Скорость и направление ветра – весьма изменчивые характеристики физического состояния атмосферы. Поэтому скорость ветра принято принимать в среднем за 10-минутный, а направление ветра – за 2-минутный интервалы времени. При этом отмечается точка максимального порыва ветра (*максимальная скорость*). Кроме того, устанавливается изменчивость скорости и направления ветра, или его *порывистость*, которая оценивается качественно: по направлению – постоянный или переменный, по скорости – равномерный или порывистый.

Повторяемость направления ветра оценивается методами математической статистики, а полученные за рассматриваемый период (например, месяц) результаты выражаются в процентах от общего количества наблюдений. Аналогичным образом определяется и количество штилей. Режим ветра в рассматриваемом месте для определенного периода времени принято изображать в виде *розы ветров* (рис. 8.20).

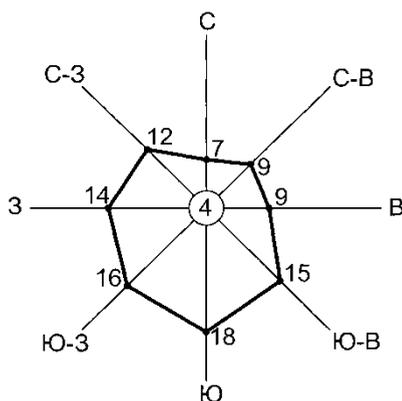


Рис. 8.20. Роза ветров

8.4.3. Приборы, используемые для определения направления и скорости ветра

При наблюдении за ветром на метеорологических станциях используются различные приборы. Среди них – *флюгеры* (рис. 8.21), *датчики скорости и направления ветра* (рис. 8.22), *анемометры* (рис. 8.23), *анеморумбометры* (рис. 8.24, 8.25), *анемографы* (рис. 8.26) и др. Принципиальная электрическая схема *электрорумбометра* представлена на рис. 8.27; установка стационарных приборов для измерения скорости и направления ветра – на рис. 8.28, 8.29.

Наряду с традиционными приборами в последние годы широкое распространение в дорожных организациях получили автоматические метеорологические станции с дистанционным управлением, предназначенные для измерения не только скорости и направления ветра, но и других метеорологических характеристик – температуры и влажности воздуха, температуры дорожного покрытия, количества выпадающих осадков и т.п.

Одновременно в пунктах контроля метеорологических характеристик организуется наблюдение за интенсивностью и составом транспортных потоков и экологический мониторинг окружающей среды.

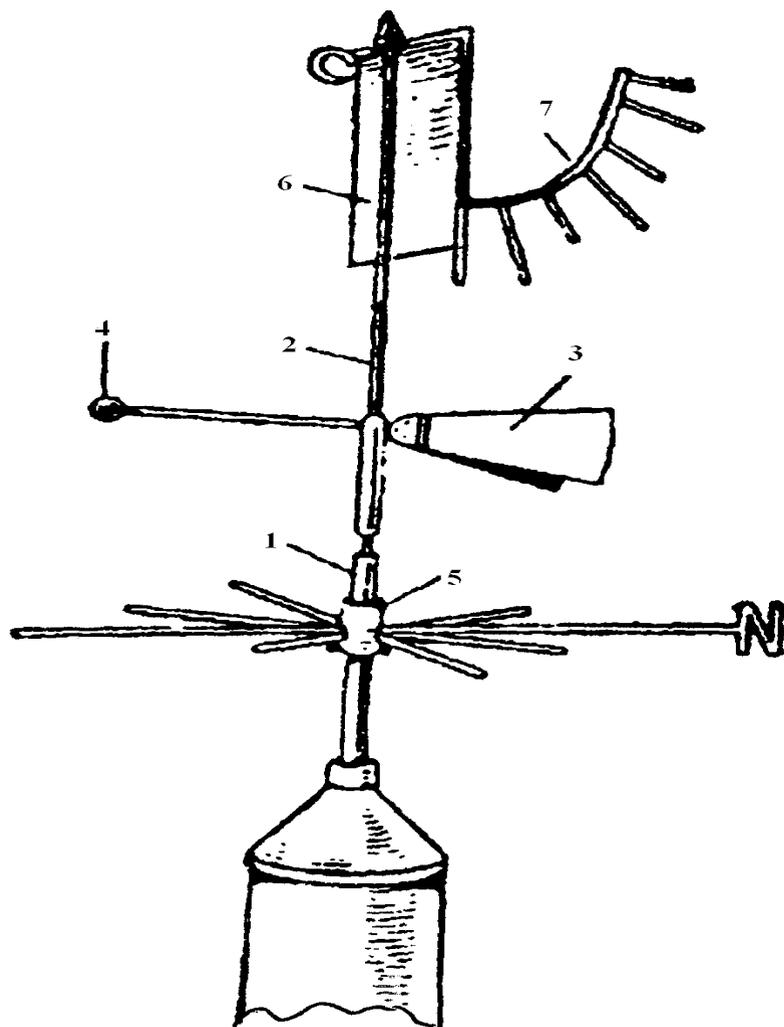


Рис. 8.21. Флюгер:

1 – неподвижный вертикальный стержень; 2 – подвижная трубка; 3 – полости флюгарки, расположенные под углом 22° ; 4 – противовес; 5 – втулка с восьмью штифтами, ориентированными по сторонам света (север обозначен буквой N); 6 – металлическая доска 150×300 мм (вес 200 или 800 г), отклоняющаяся под силой ветра; 7 – дуга с восьмью штифтами для фиксации угла отклонения металлической доски

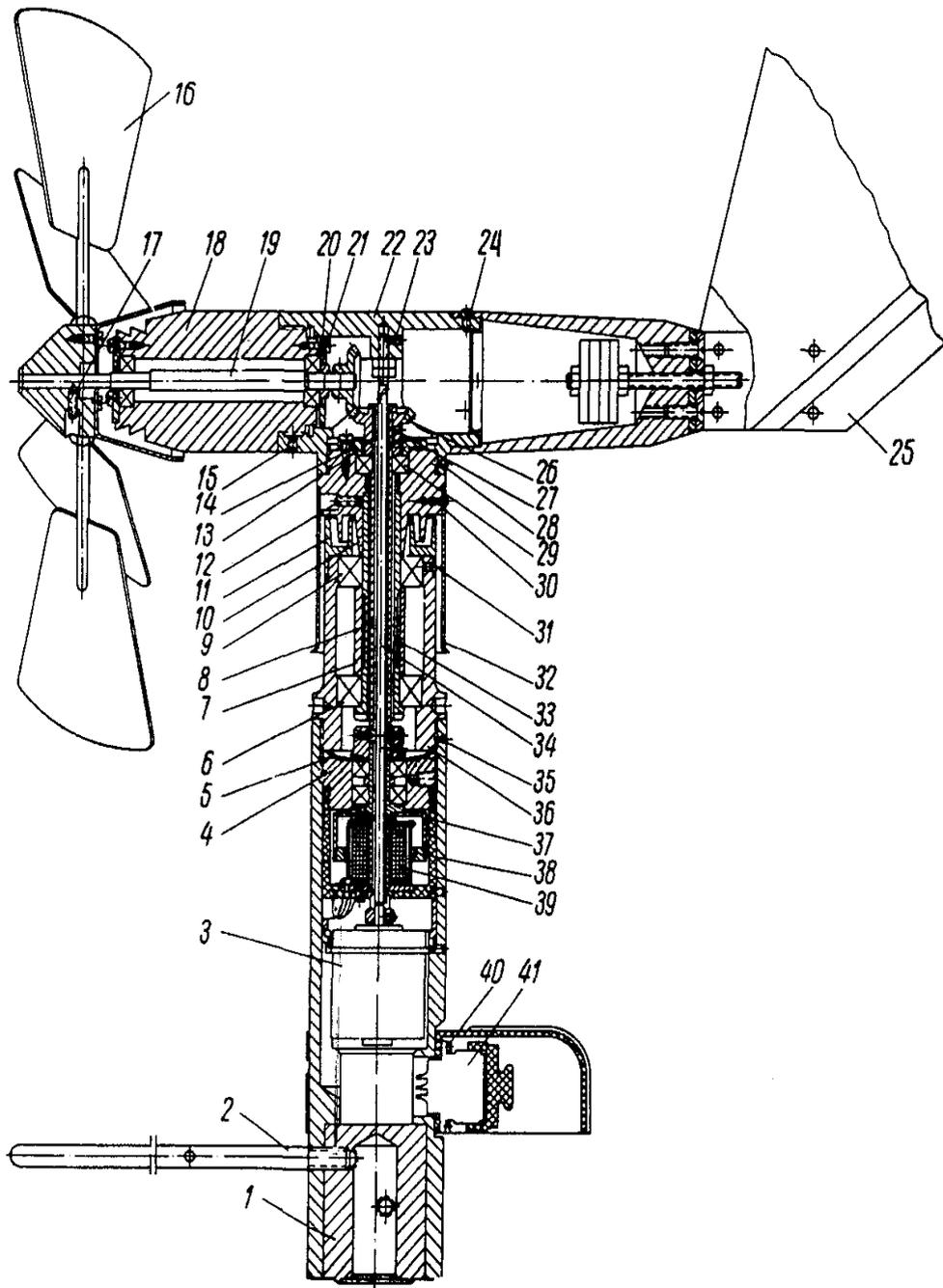


Рис. 8.22. Датчик скорости и направления ветра (прибор 16А-1):

1 – стойка; 2 – ориентир; 3 – сельсин; 4 – втулка; 5 – шайба; 6, 9, 29 – подшипники; 7 – распорная втулка; 8 – ось; 10 – верхняя часть лабиринта; 11 – нижняя часть лабиринта; 12, 15, 17, 28, 35 – стопорные винты; 13, 20 – фланцы; 14, 21, 23, 24, 27, 30, 31, 40 – крепежные винты; 16 – вертушка; 18 – втулка; 19 – ось; 22 – тройник; 25 – флюгарка; 26 – коническая шестерня; 32 – защита; 33 – трубка; 34 – ось; 36 – стойка подшипников; 37 – генератор; 38 – постоянный магнит; 39 – катушка генератора; 41 – итпсельный разъем

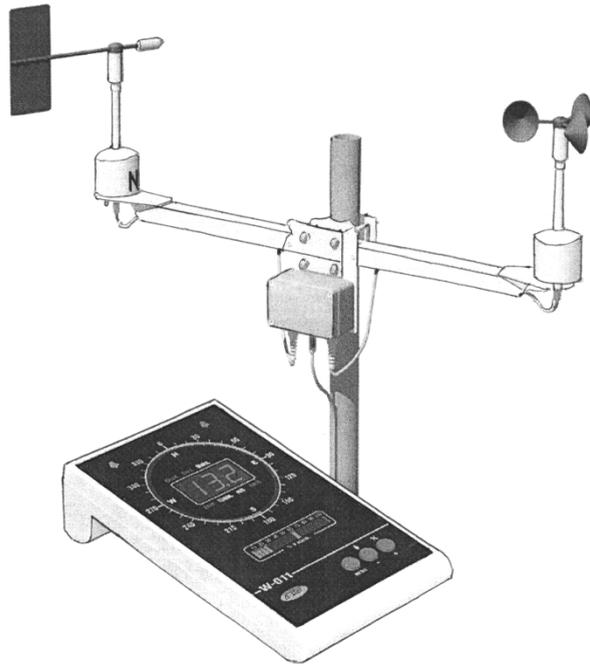
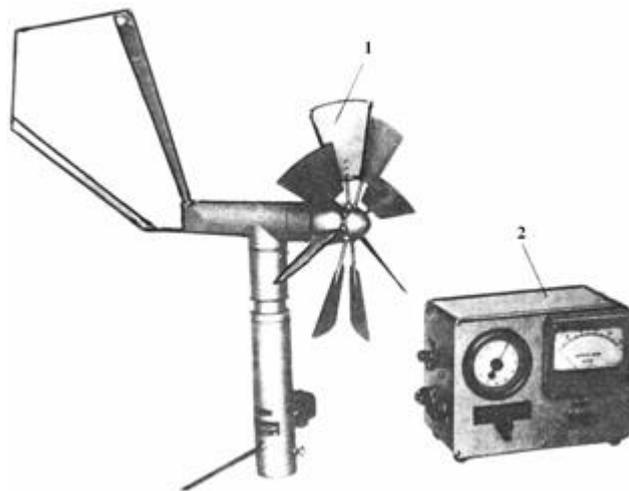


Рис. 8.23. Анемометр W-011



*Рис. 8.24. Анемометр М-47:
1 – датчик скорости и направления ветра; 2 – указатель скорости и направления ветра*

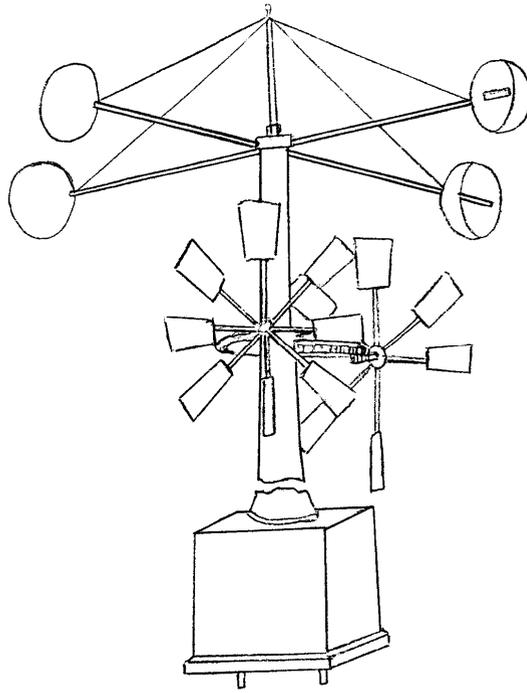


Рис. 8.25. Анеморумбограф Мунро

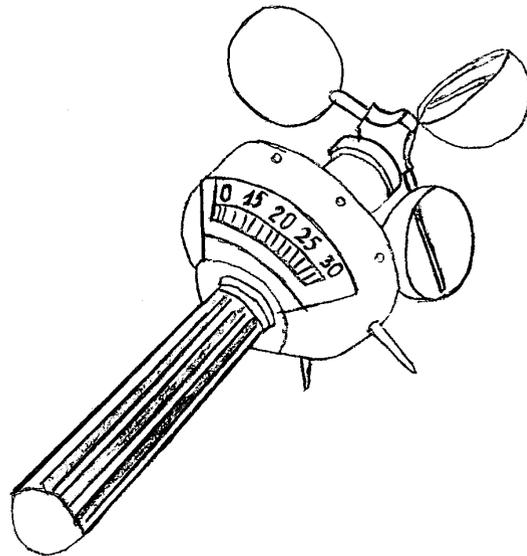


Рис. 8.26. Индукционный анемограф

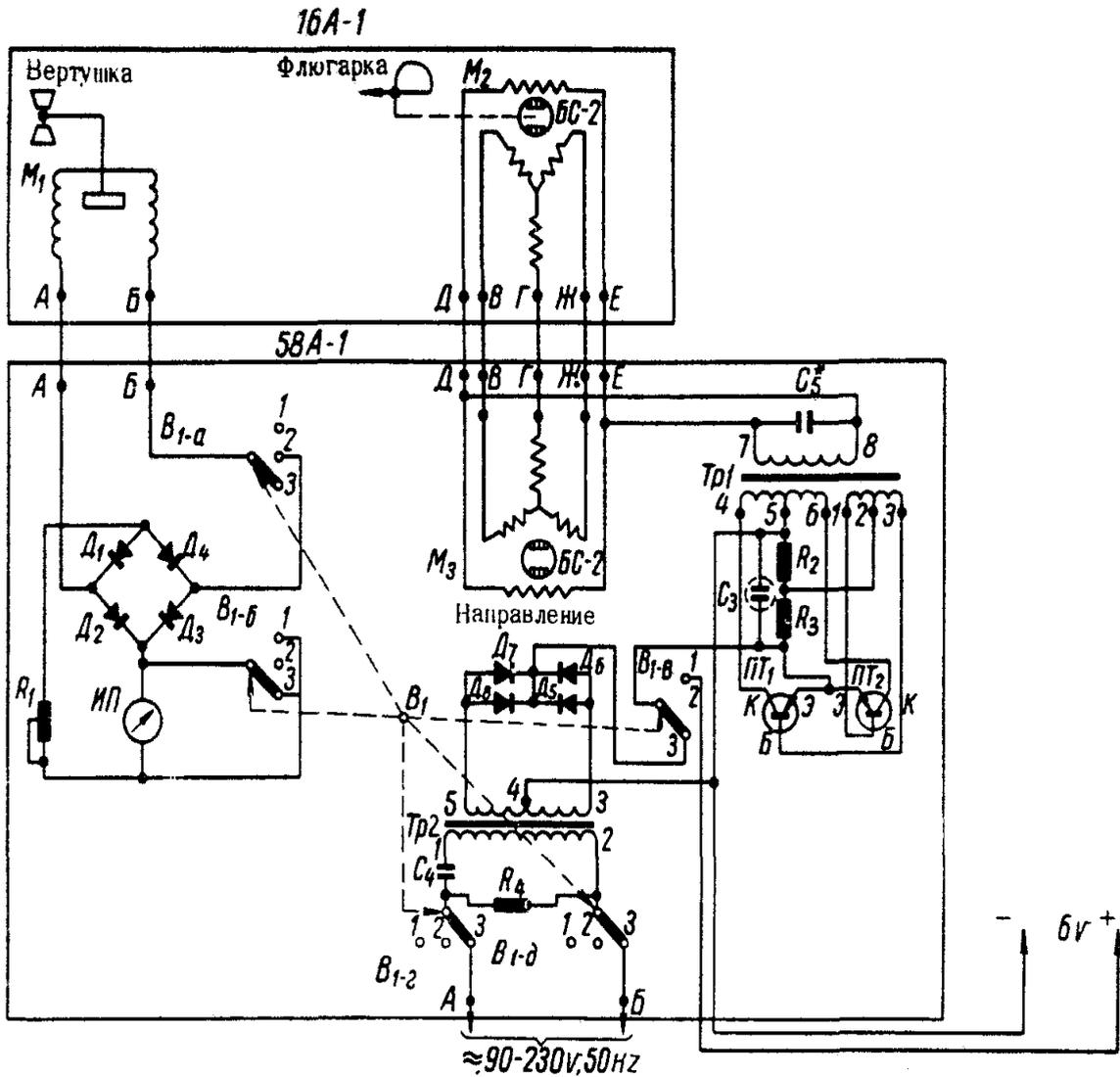


Рис. 8.27. Принципиальная электрическая схема
электрорумбометра КБ 1.175.001. Сх.Э:

M_1 – генератор; Tr_1 , Tr_2 – трансформаторы; M_2 , M_3 – сельсины; А, Б, В, Г, Д, Е, Ж – выводы датчика и приемника; R_1 – R_4 – сопротивления; C_3 – C_5 – конденсаторы; D_1 – D_8 – полупроводниковые диоды; $ПТ_1$, $ПТ_2$ – полупроводниковые триоды; Э – эмиттер; К – коллектор; Б – база; V_1 – переключатель; ИП – измерительный прибор; положения переключателя V_1 : 1 – направление – питание от батарей; 2 – скорость; 3 – направление – питание от сети

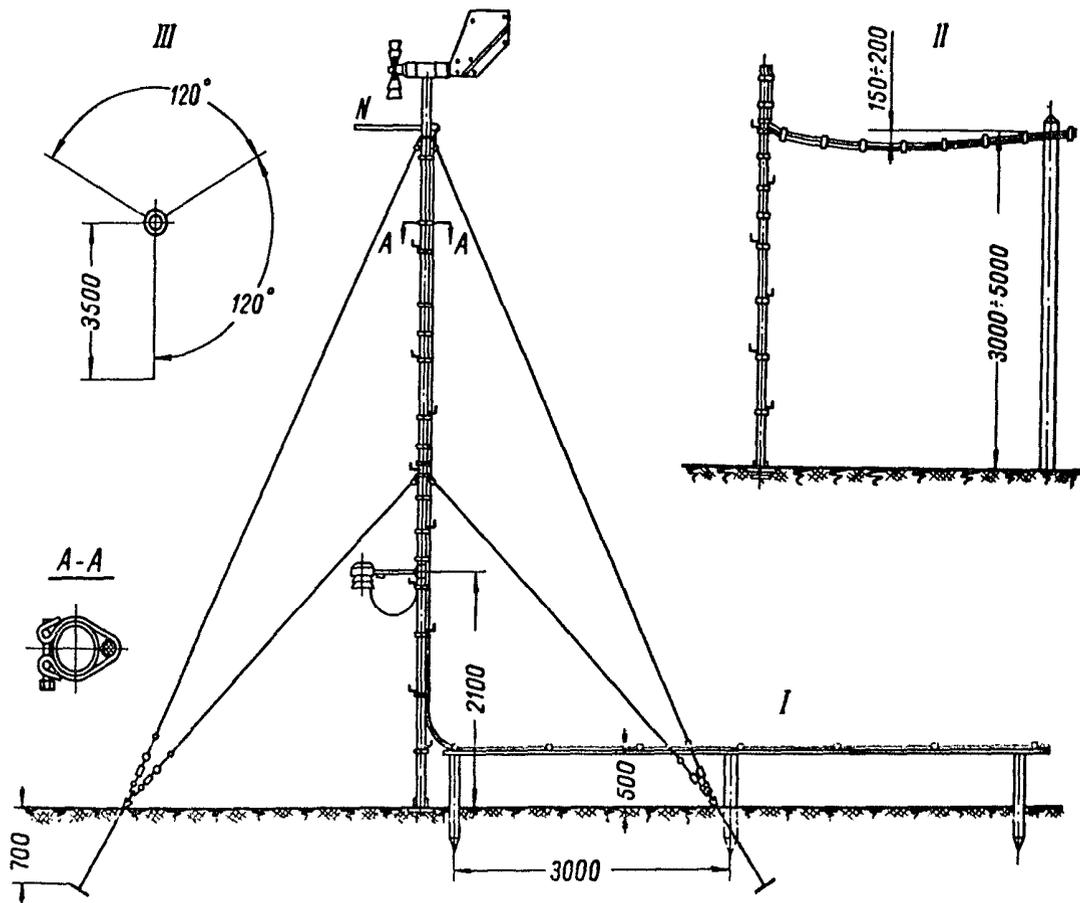


Рис. 8.28. Установка датчика скорости и направления ветра на метеомачте КБ1.175.001.М4:
 I, II – варианты установки; III – схема расположения оттяжек метеомачты

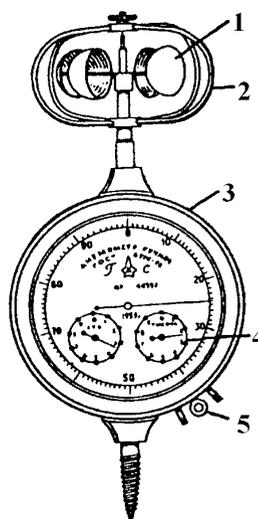
**Значения скорости ветра, м/с, в зависимости от положения
доски на дуге со штифтами**

Вид доски	Скорость ветра при положении доски возле штифта														
	0	0- 1	1	1- 2	2	2- 3	3	3- 4	4	4- 5	5	5- 6	6	6- 7	7
Легкая	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17	20
Тяжелая	0	2	4	6	8	10	12	14	16	19	20	24	28	34	40

По показаниям флюгера определяется также характер ветра. Направление ветра считается *постоянным*, когда в течение периода наблюдения противовес колеблется в пределах одного румба, и *переменным*, если противовес сдвигается на 2 и более румбов.

Ветер считается *равномерным*, когда доска колеблется на протяжении 2 минут возле одного штифта или между двумя соседними штифтами. Если амплитуда ее колебаний – в пределах более двух штифтов, ветер считается *порывистым*.

Для измерения скорости ветра широко используются также *ручные чашечные анемометры* (рис. 8.30).



*Рис. 8.30. Ручной чашечный анемометр:
1 – полусферические чашки; 2 – защитная рамка;
3 – металлический корпус; 4 – циферблат; 5 – оретир*

С помощью этих приборов можно определять скорость ветра в пределах от 1 до 20 м/с. Принцип работы чашечных анемометров – в ориентации на преобразование вращения полусферических чашек в показания отсчета на циферблатах. На первом (большом) циферблате написаны десятки, на втором – сотни, на третьем – тысячи делений, по которым определяется число оборотов вертушки. Преобразование может быть механическое, индуктивное и др. Зависимость скорости ветра от числа оборотов вертушки устанавливается по данным тарцеровки, приведенным в паспорте анемометра.

При измерении скорости ветра анемометр устанавливается вертикально на требуемой высоте путем ввинчивания его шурупа в деревянный столб; наблюдатель при этом должен стоять лицом к ветру, а циферблат прибора повернут к наблюдателю. До начала работы прибора производится

запись показаний на всех трех шкалах, затем одновременно с секундомером включается счетчик анемометра. Включение прибора может быть как непосредственное – с помощью оретира, так и дистанционное – с помощью шнура, прикрепляемого к оретиру. Через установленный интервал времени (обычно – 10 минут) прибор выключается. Разница показаний до и после включения прибора принимается за расчетную и используется для определения скорости ветра.

Анеморумбометр – прибор для измерения скорости и направления ветра. Он состоит из датчиков скорости и направления ветра, измерительных приспособлений и источников питания. В качестве датчика скорости ветра служит восьмилопастный воздушный винт, а в качестве датчика направления ветра – флюгер. Электрические импульсы, возникающие при воздействии ветровых потоков, передаются по кабелю на измерительную установку.

Анеморумбометр может быть соединен с системой регистрации импульсов, что дает возможность автоматически производить запись скорости и направления ветра. Приборный комплекс в этом случае называется **анеморумбографом**.

8.4.4. Ветровой режим на территории Беларуси

Ветровой режим на территории Беларуси обусловлен общей циркуляцией атмосферы над континентом Евразии и над Атлантическим океаном и определяется существованием центров действия атмосферы: Исландской депрессии – на протяжении всего года, Сибирского антициклона – зимой и Озерского антициклона – летом. Под их влиянием с ноября по март преобладают юго-западные ветры, а с мая по сентябрь – северо-западные. Скорость ветра зимой – 4-5 м/с, летом – 2-3 м/с. Сильные ветры бывают редко (5-10 дней в году). Зимой – при прохождении холодного фронта, летом – при ливнях бывают бури. Летом изредка бывают смерчи. На берегах больших озер существует бризовая циркуляция.

8.5. Циклоны и антициклоны

Циклон – особый вид кругового движения воздуха вокруг центра с пониженным атмосферным давлением. В северном полушарии оно совершается против часовой стрелки, в южном – по часовой стрелке (рис. 8.31).

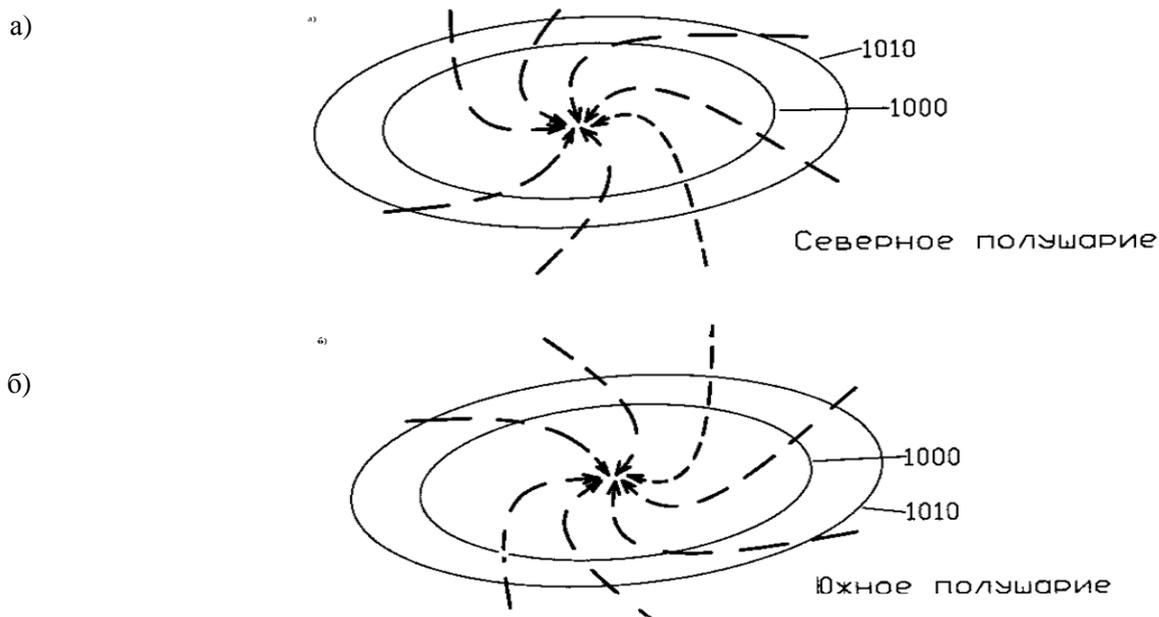


Рис. 8.31. Циклон: изобары и околосемные линии потока воздуха:
а – северное полушарие; б – южное полушарие

Различают собственно циклоны и тропические циклоны. Схема образования циклона представлена на рис. 8.32.

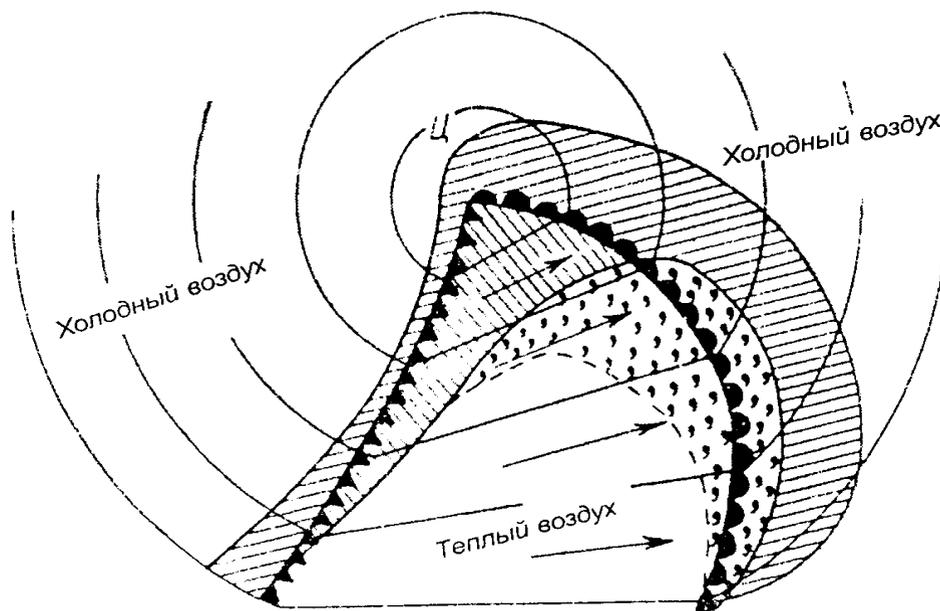
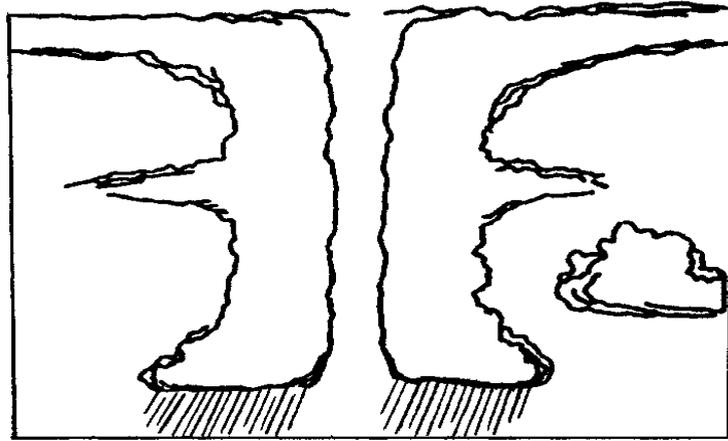


Рис. 8.32. Схема образования циклона

Собственно циклоны представляют собой крупные вихревые образования диаметром от 1 тыс. км (в начале развития) до 2-3 тыс. км и более (при их углублении). Образуются в умеренных и полярных широтах северного и южного полушариев, преимущественно на полярных и арктических атмосферных фронтах. Атмосферное давление циклона на уровне моря снижается до 950-96 Мбар. В разных частях циклона наблюдаются температурные контрасты. Перемещаются циклоны преимущественно вдоль воздушных фронтов с запада на восток. Скорость их передвижения – 30-40 км/ч, а иногда достигает 80 км/ч. Над каждым полушарием за год бывает несколько сот циклонов. Продолжительность их действия – от нескольких дней до 1-2 недель.

Циклоны вызывают образование больших и мощных облаков, выпадение осадков, резкое изменение погоды. На Беларуси за год отмечается в среднем 40 % дней с циклонами: в ноябре – феврале и в мае – июне – около 50 %, в марте – апреле – 30 %, в сентябре – около 15 %.

Тропические циклоны (рис. 8.33) возникают в тропических широтах – между 5 и 20° северной и южной широт. Они движутся обычно на запад (на северо-запад – в северном и на юго-запад – в южном полушарии). По сравнению с циклонами умеренных широт тропические циклоны отличаются меньшими размерами (до 300-400 км), значительно большим барическим градиентом, исключительно сильными ветрами (до 70 м/с и более) и сопровождаются катастрофическими ливневыми осадками, штормами на морях и разрушениями в прибрежных районах. Ежегодно на Земле возникает до 70-80 тропических циклонов. Возле берегов Восточной Азии их называют *тайфунами*.



Земная поверхность

Рис. 8.33. Вертикальный разрез тропического циклона

Антициклон – область повышенного атмосферного давления (рис. 8.34).

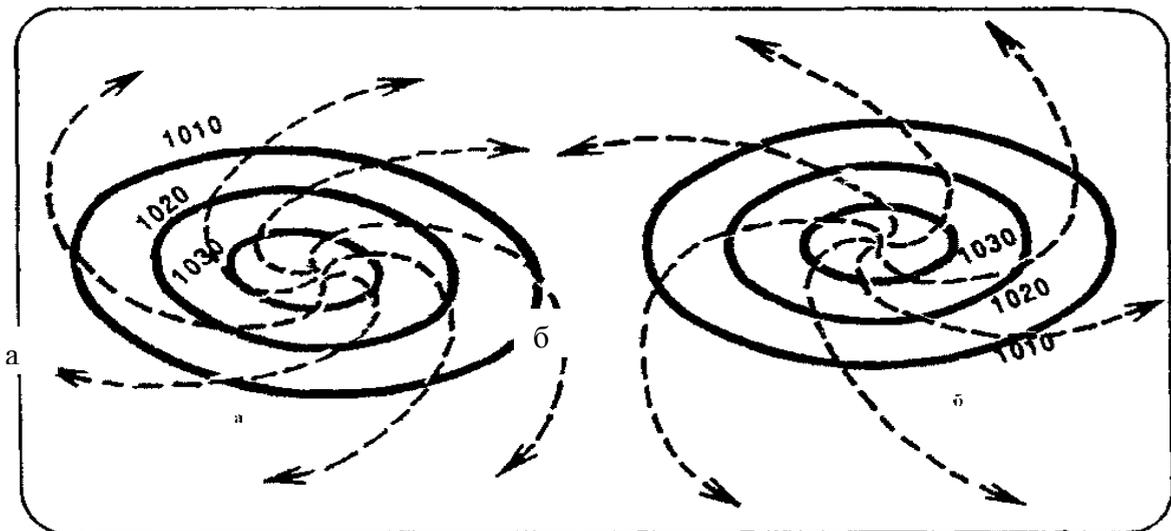


Рис. 8.34. Антициклон: изобары и околосемные линии потока воздуха:
а – северное полушарие; б – южное полушарие

Атмосферное давление в центре антициклона на уровне моря достигает 1025-1070 мб. Диаметр антициклона достигает от сотен до 2-3 тыс. км. Ветры направлены от центра к периферии антициклона, причем в северном полушарии под воздействием вращения Земли они отклоняются по часовой стрелке, а в южном – против часовой стрелки. Антициклоны перемещаются со скоростью 30-40 км/ч с запада на восток, отклоняясь от низких широт. Некоторые из них малоподвижны.

Для антициклонов характерны исходящие потоки воздуха, при которых происходит адиабатическое нагревание. В результате температура в антициклонах повышается. В зимний период при малоподвижных антициклонах над континентами умеренных широт происходит сильное охлаждение воздуха. Для территорий, занятых антициклонами, характерны ясная и сухая погода, температурная инверсия, слабые ветры. Антициклоны возникают ежедневно в субтропиках и над континентами. Над территорией Беларуси в течение года проходит 15-16 антициклонов, которые определяют погоду на протяжении около 150 дней.

9. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

9.1. Общие положения

Магнитосфера Земли – это зона околоземного пространства, физические свойства которой определяются магнитным полем и его взаимодействием с потоками заряженных частиц космического происхождения. Граница магнитосферы обусловлена разностью магнитного давления поля планеты и кинетического давления солнечного ветра. Магнитосфера Земли с дневной стороны распространяется на 8 – 14 земных радиусов, а с ночной – вытягивается на несколько сотен земных радиусов и образует *магнитный хвост Земли*. Пространство, в котором действуют силы земного магнетизма, называется *магнитным полем Земли*. Земной шар окружен сильным магнитным полем (рис. 9.1).

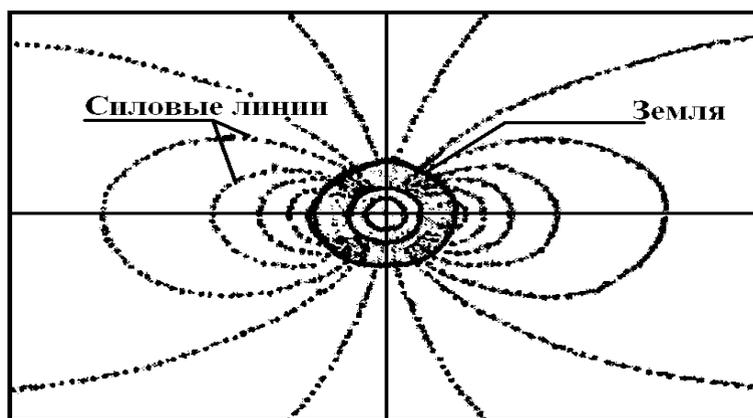


Рис. 9.1. Схема силовых линий магнитного поля Земли

Напряжение магнитного поля уменьшается с высотой и изменяется во времени. Оно выполняет защитные функции против космических лучей. На пути от Солнца к Земле заряженные частицы – протоны и электроны – попадают в магнитосферу, не могут пересечь магнитные силовые линии и передвигаются от полюса к полюсу. Если бы эти частицы достигали нашей планеты, общий уровень радиации был бы в несколько раз выше, чем теперь.

Много столетий естествоиспытатели стремятся понять, почему у земного шара есть магнитное поле, что представляют собой его могучие источники, как глубоко они запряганы в недрах Земли. Для современных ученых это по-прежнему в значительной мере остается тайной. Между тем, разгадав ее, удалось бы не только решить важнейшую познавательную задачу, но и больше узнать об образовании и развитии нашей планеты, а также об эволюции других планет солнечной системы.

С давних времен земное магнитное поле интересовало самых выдающихся ученых. Это уникальное явление природы, использование которого позволило бы использовать огромные возможности для решения важнейших практических задач, поражая их воображение. Вопросам геомагнитного поля в настоящее время уделяется большое внимание, т.к. изучение природы магнитного поля Земли относится к фундаментальным знаниям, является основой многих естественных и технических наук. Магнитное поле Земли выполняет важные защитные функции: улавливает заряженные частицы, приходящие от Солнца, создает радиационные пояса Земли (рис. 9.2).

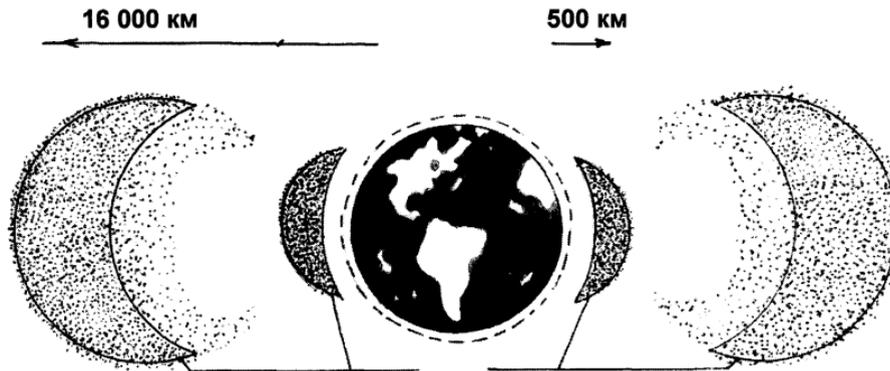


Рис. 9.2. Радиационные пояса Земли

9.2. Земной магнетизм

Земной магнетизм (геомагнетизм, магнитное поле Земли и околоземного космического пространства) – раздел с геофизики, изучающий распределение в пространстве и изменение во времени геомагнитного поля, а также связанных с ними геофизических процессов в недрах земли и в различных слоях атмосферы.

В каждой точке пространства геомагнитное поле характеризуется вектором напряженности T , величина и направление которого определяются тремя составляющими x , y , z (северной, восточной и вертикальной) в прямоугольной системе координат или тремя элементами земного магнетизма – горизонтальной составляющей напряженности H , магнитным склонением D (углом между H и плоскостью географического меридиана) и магнитным наклонением I (углом между T и плоскостью горизонта). Земной магнетизм обусловлен действием постоянных источников, расположенных внутри Земли и испытывающих лишь медленные вековые изменения (вариации), и внешних (переменных) источников, расположенных в магнитосфере Земли и иносфере. Соответственно различают **основное** (главное) ($\approx 99\%$) и **переменное** (1%) **геомагнитные поля**.

9.3. Основное (постоянное) геомагнитное поле

Для изучения пространственного распределения основного геомагнитного поля измеренные в разных местах значения H , D , I наносят на магнитные карты и соединяют линиями точки равных значений элементов, которые называются соответственно **изодинамами**, **изогонами**, **изоклинами**. Линия (изоклина) $I = 0$, т.е. магнитный экватор, не совпадает с географическим экватором. С увеличением широты значения I возрастают до 99% в магнитных полюсах. Полная напряженность T от экватора к полюсу растет с $33,4$ до $55,7$ А/м (от $0,42$ до $0,70$ Э, 1 эрстед = $79,577$ А/м). Координаты северного магнитного полюса на 1985 год: долгота – $102,48^\circ$ з.д.; широта – $77^\circ 36'$ с.ш.; южного магнитного полюса: долгота – 139° в.д.; широта – $65^\circ 06'$ ю.ш. Сложную картину распределения геомагнитного поля в первом приближении можно представить полем диполя (эксцентричного, со смещением от центра Земли приблизительно на 436 км) или однородного намагниченного шара, магнитный момент которого направлен под углом $11,5^\circ$ к оси вращения Земли.

Полосы геомагнитные (полосы однородно намагниченного шара) и полосы магнитные задают соответственно **систему геомагнитных координат** (широта геомагнитная, меридиан геомагнитный, экватор геомагнитный) и **магнитных координат** (широта, меридиан магнитные). Отклонения действительного распределения геомагнитного поля от дипольного (нормального) называют **магнитными аномалиями**.

В зависимости от интенсивности и величины занимаемой площади различают **мировые аномалии глубинного происхождения**, например, Восточно-Сибирскую и др., а также **аномалии локальные** и **региональные**, которые могут быть вызваны, например, неравномерным

распределением в земной коре ферромагнитных минералов. Влияние мировых аномалий сказывается до высот $\sim 0,5 R_3$ над поверхностью Земли (где R_3 – радиус Земли). Основное магнитное поле имеет дипольный характер до высот $\sim 3R_3$.

На Беларуси модуль нормального магнитного поля составляет около 50 тыс. нТл (нанатесла), склонение восточное – около 5° , наклонение положительное на север – около 70° . Локальный анализ – 2000-3000 нТл. Максимальное значение аномального поля 7,5 тыс. нТл наблюдается в районе деревни Новоселки Гродненской области.

9.4. Происхождение основного геомагнитного поля

Для объяснения происхождения основного геомагнитного поля выдвигалось много различных гипотез. Современные гипотезы о вековых вариациях и многократных изменениях полярности геомагнитного поля удовлетворительно объясняются только *гипотезой о гидромагнитном динамо* (ГД). Согласно этой гипотезе, в электропроводящем жидком поле Земли могут происходить достаточно сжатые интенсивные движения, приводящие к самовозбуждению магнитного поля аналогично тому, как происходит генерация тока и магнитного поля в динамомашине с самовозбуждением.

Исследования ГД опираются на магнитную гидродинамику. Если считать скорость движения вещества в жидком ядре Земли заданной, можно доказать принципиальную вариационность генерации магнитного поля при стационарных и нестационарных движениях различного вида. Усредненное магнитное поле в ядре Земли можно представить в виде суммы двух составляющих – тороидального поля V_ϕ и поля V_r , силовые линии которого лежат в меридиональных плоскостях.

Силовые линии поля V_ϕ замыкаются внутри земного ядра и выходят наружу. Согласно наиболее распространенной схеме ГД, поле V_ϕ в сотни раз сильнее, чем проникающее наружу поле V_r .

Общая теория ГД находится еще в начальной стадии развития, в ней еще многое гипотетично. В качестве причин, вызывающих движение, выдвигаются архимедовы силы, обусловленные небольшими неоднородностями плотности в ядре, и силы инерции.

9.5. Практическое применение явлений земного магнетизма

Под действием геомагнитного поля магнитная стрелка располагается в плоскости магнитного меридиана. Это явление используется с древних времен для ориентации на местности, в военном деле, в геодезической и маркшейдерской практике.

Исследование локальных магнитных аномалий, например, позволяет обнаружить полезные ископаемые (железную руду). Широкое распространение получил магнитотеллурический способ зондирования, в котором по полю магнитной бури вычисляют электропроводимость слоев Земли и оценивают затем существующие там давление и температуру. Геомагнитные данные служат также для прогноза радиационной обстановки в околоземном пространстве при космических полетах.

Постоянство геомагнитного поля до высот в несколько радиусов Земли используется для ориентации и маневров космических аппаратов.

Геомагнитное поле воздействует на живые организмы, растительный мир и человека: например, в условиях магнитных бурь увеличивается количество сердечно-сосудистых больных, страдающих гипертонией, и т.д. Магнитные бури возникают в результате воздействия на магнитное поле Земли усиленных потоков солнечной плазмы. В годы спокойного Солнца их количество – 1-2, в период наибольшей активности – 20-40 за год. Чаще всего магнитные бури наблюдаются в период магнитной активности Солнца, цикличность которой составляет 11 лет. Изучение характера электромагнитного воздействия на живые организмы представляет собой одну из новых и перспективных направлений биологии.

10. ОСНОВЫ КЛИМАТОЛОГИИ И ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

10.1. Вводные понятия

Климатология – это наука о климате, его формировании, развитии и состоянии.

Под **климатом** подразумевается совокупность погодных условий, действующих в течение длительного периода времени. Он включает экспериментальные, переменные и средние погодные условия. Метеостанции регистрируют исходные показатели – радиацию, температуру, давление, скорость ветра, влажность, тип облаков и их количество, осадки, испарение, длину светового дня, длительность и высоту снежного покрова. Такие исследования могут относиться к территориям различной площади – к целой стране и к небольшому населенному пункту.

В любом месте земли на климатические условия влияют географическая широта, высота над уровнем моря, рельеф, расстояние от моря, океанические течения, а также и площадь растительного покрова и характер почв. Значительные изменения климата отделены друг от друга длительными интервалами: например, великое оледенение кончилось около 10 тысяч лет назад.

Современный климат серьезно меняется в результате деятельности человека.

Этому процессу способствует загрязнение атмосферы, урбанизация, искусственная денудация ландшафтов.

Исследования в области метеорологии и климата имеют глобальное значение. По этим вопросам поддерживаются контакты в рамках Всемирной метеорологической организации (ВМО). Всемирная метеорологическая организация имеет своей целью содействие международному сотрудничеству в развитии метеорологических наблюдений и исследований, координацию деятельности национальных метеорологических и гидрометеорологических служб. Организация основана в 1947 году и функционирует в рамках ООН. С 1871 по 1947 год существовала международная метеорологическая организация, выполнявшая такие же функции.

Для решения проблем, связанных с мониторингом погоды на Земном шаре, создана Всемирная служба погоды (ВСП). Основная цель этой организации – централизация сбора и обработки сведений о состоянии погоды на всем Земном шаре для улучшения и облегчения работы национальных метеорологических служб. Мировые центры погоды находятся в Москве, Вашингтоне, Мельбурне. ВСП опирается на глобальную систему наблюдений, включающую различные виды наземных станций и метеорологические спутники. Мировые и региональные центры распространяют карты и сводки текущей и будущей погоды и состояния океанов, которые используются национальными и местными метеорологическими службами. Сбор, обработка и передача информации осуществляются автоматически с использованием информационных технологий и современных средств телекоммуникации.

Климатология как наука имеет общее значение для анализа погодно-климатических особенностей местности и решения генеральных проблем развития экономики государств.

Наука, изучающая общие вопросы климата, носит название **общей климатологии**. Каждая из сфер производства имеет свое отношение и интерес к климату и решает производственные вопросы с учетом целого ряда специфических характеристик климата. Эти области климатологии принято называть **прикладными**. К прикладным климатологиям относятся сельскохозяйственная, авиационная, строительная, дорожная, морская.

При изучении общей климатологии выделяют такие разделы, как тепловой баланс.

Динамическая климатология занимается вопросами изучения динамики происходящих в атмосфере изменений.

Микроклиматология – раздел общей климатологии, который занимается микроклиматом.

Особый раздел занимает также **климатография** – раздел климатологии, изучающий климат в различных районах земного шара и объясняющий генетику его распределения.

10.2. Классификация климатов

Проблемы климата всегда волновали человечество, поэтому на его оценки и особенности в различных районах мира всегда направлено пристальное внимание ученых различных стран. Результаты исследований определенных климатообразующих факторов позволили сформулировать закономерности климатов на земле. Однако в ряде случаев предложения по классификации климатов значительно отличались, так как базировались на различных научных подходах, а исследователями ставились различные прагматические цели. Большинство систем классификации типов климата сложны, их подразделы выделяются на основе многих критериев.

Начальное представление о климате и его закономерностях сложилось еще в Древней Греции. В XVII и XVIII вв. появляются первые описания климатов на базе инструментальных метеорологических наблюдений. Э.Галлей и Дж.Хэдаи (Великобритания) высказали первые соображения о влиянии атмосферной циркуляции на климат. В начале XIX века немецкий естествоиспытатель А.Гумбольдт положил начало систематическому описанию и объяснению климатов Земли и построил первые климатические карты. В дальнейшем климатические карты были построены Грizenбахом (рис. 10.1), Зупаном (рис. 10.2), Броуном (рис. 10.3).

Во второй половине XIX века климатологические исследования начали усиленно развиваться в России, где в 1849 году была открыта Главная физическая обсерватория. В начале XX века климатолог В.П. Кеппен разработал широко распространенную до сих пор классификацию климатов Земного шара, основанную на изучении природных зон растительности и выделении климатических зон по соотношению годовых режимов приземной температуры воздуха и осадков, а также заложил основы исследований связи климата с солнечной активностью.

Классификация В.П. Кеппена предусматривает 6 основных типов климата (причем 5 из них определяются по термическим, а один – по гидрологическим условиям):

1. **Тропические влажные климаты без зимы (А)** (с температурой самого холодного месяца $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$). Дальнейшая дифференциация производится в соответствии с отсутствием или наличием сухого периода.

2. **Сухие климаты (В)**, границы которых, отделяющие их от климатов А, С и D, в настоящее время определяются по следующим эмпирически полученным соотношениям между средней годовой температурой (в $^{\circ}\text{C}$) и средней годовой суммой осадков (в см):

- a. при летних дождях: $r = 2t + 14$;
- b. при дождях без определенной сезонности: $r = 2t + 14$;
- c. при зимних дождях: $r \neq 2t$.

В пределах этой области выделяются климат степей BS и климат пустынь BW; для определения границы между ними приведенные выше индексы уменьшаются вдвое. Дальнейшая дифференциация климатов В производится по температуре.

3. **Умеренно теплые дождевые климаты (С)** с температурой наиболее холодного месяца от $+18$ до $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температурой самого теплого месяца выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Осадки на протяжении всего года или по сезонам – выше предельных величин, указанных в качестве граничных значений для сухих климатов В. Дальнейшая дифференциация осуществляется по годовому ходу осадков и по средним месячным температурам.

4. **Бореальные и снежно-лесные климаты (D)**, формирующиеся только в пределах северного полушария и имеющие среднюю годовую температуру ниже $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднюю температуру июля выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дальнейшее подразделение проводится на тех же основаниях, что и для климатов типа С.

5. **Холодные климаты (Е)** по другую сторону границы древесной растительности, как полярной, так и высотной. Температура самого теплого месяца в этих климатах – не выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. не превышает приблизительную предельную величину для границы произрастания древесной растительности, которой в континентальных условиях должна соответствовать температура около $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в океанических – около $11\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. **Снежные климаты, или климаты вечного мороза (F).** Средняя температура самого теплого месяца – ниже 0 °С. Случайно могут наблюдаться единичные положительные температуры, но их недостаточно для произрастания растительности. Иногда могут выпадать дожди, которые не оказывают существенного влияния на постоянную аккумуляцию снега, а, скорее, при замерзании увеличивают количество льда и фирна.

Основные типы климатов подразделяются на подтипы в соответствии с сезонностью и годовым ходом осадков и температуры.

Классификация Л.С. Берга (рис. 10.4) определяет типы климата в соответствии с ландшафтно-географическими зонами вечного мороза, тундры, тайги, широколиственных лесов умеренного пояса, муссонов (в умеренных широтах), степей, внетропических пустынь, средиземноморских и субтропических лесов, тропических пустынь и лесостепей (саванн) и влажных тропических лесов.

М.И. Будыко и А.И. Григорьев предложили классифицировать климат:

- 1) по условиям увлажнения – избыточно влажный, недостаточно влажный и сухой;
- 2) в соответствии с температурным режимом теплого периода года – очень холодный, холодный, умеренно-теплый, очень теплый;
- в) в соответствии с температурными условиями и снежностью зимы – суровой малоснежной, суровой снежной, умеренно суровой малоснежной, умеренно суровой снежной, умеренно-мягкой, мягкой.

Б.П. Алисов классифицировал типы климата по генетическому принципу (рис. 10.5). В каждом полушарии он выделил четыре пояса:

- 1) экваториальный;
- 2) тропический;
- 3) умеренный;
- 4) арктический (антарктический).

Для каждого из этих поясов характерны свои закономерности циркуляции атмосферы, преобладают массы воздуха одного типа.

Границы поясов от сезона к сезону сменяются, поэтому принято выделять переходные пояса – субэкваториальный, субтропический, субарктический (субантарктический) и др. У каждого широтного пояса, за исключением экваториального, существуют четыре основных типа климата:

- 1) континентальный;
- 2) морской;
- 3) западных побережий;
- 4) восточных побережий.

Особенности континентального и морского климатов обуславливают различные свойства воздушных масс, формирующихся над сушей и водной поверхностью. Климат западных и восточных областей отличается в результате общей циркуляции атмосферы. Сухой климат, при котором атмосферной влаги не хватает на вегетацию растений, называется **аридным**; климат с избыточной влагой (когда осадки превышают испарение) называется **гумидным**.

Большой вклад в развитие климатологии и классификации климатов внесли исследователи К.С. Веселовский, А.И. Воейков, Л.С. Берг, М.И. Буденко, В.Ю. Визе, О.А. Дроздов, Е.С. Рубинштейн, С.П. Хромов и др.

Широкое распространение получила классификация климатов Земного шара Б.П. Алисова (1952 г.), основанная на анализе циркуляционных процессов в атмосфере (рис. 10.5). Карту ландшафтного и дорожно-климатического районирования (рис. 10.4) предложил академик Л.С. Берг.

В настоящее время принято различать 10 типов климатов (рис. 10.6 – рис. 10.15):

1. **Тропический влажный, или экваториальный климат** – жаркий, с дождями в течение всего года, иногда – с двойным максимумом осадков. Амплитуда температур 2 °С. Годовое количество осадков – 1506 мм (как в Энтеббе, Уганда) (рис. 10.6).

2. **Тропический переменно-влажный климат**: дожди – преимущественно зимой, летом часто жарче, чем в экваториальном поясе, из-за меньшей облачности. Амплитуда температур 8 °С. Годовое количество осадков – 1395 мм (Кунаба, Бразилия) (рис. 10.7).

3. **Тропический муссонный климат** – находится под влиянием крупных континентальных областей низкого давления; в жаркий сезон – дожди. Амплитуда температур 11 °С. Годовое количество осадков – 1600 мм (Калькутта, Индия) (рис. 10.8).

4. **Жаркий пустынный климат:** резкий перепад дневных и ночных температур. Амплитуда температур 23 °С. Годовое количество осадков – 15 мм (Аин-Салах, Алжир) (рис. 10.9).

5. **Средиземноморский климат** – засушливые летние месяцы, зимой – дожди, связанные с областями низкого давления умеренного пояса. Амплитуда температур 6 °С. Годовое количество осадков – 506 мм (Вальпарансо, Чили) (рис. 10.10).

6. **Субтропический климат;** иначе называется “китайским типом”. Амплитуда температур 16 °С. Годовое количество осадков – 1458 мм (рис. 10.11).

7. **Умеренный морской климат** – формируется под влиянием моря и среднеширотных областей низкого давления. Амплитуда температур 13 °С. Годовое количество осадков – 610 мм (Лондон, Великобритания) (рис. 10.12).

8. **Умеренный континентальный климат:** экстремальные температуры связаны с удалением от моря. Амплитуда температур 22 °С. Годовое количество осадков – 559 мм (Варшава, Польша) (рис. 10.13).

9. **Бореальный климат:** исключительно холодные зимы, летние дожди в результате конвекции. Амплитуда температур 45 °С. Количество осадков – 320 мм (Доупсон Сити, США) (рис. 10.14).

10. **Полярный климат:** снег и лед сохраняются круглый год. Амплитуда температур 19 °С. Годовое количество осадков – 362 мм (Моусон, Антарктида) (рис. 10.15).

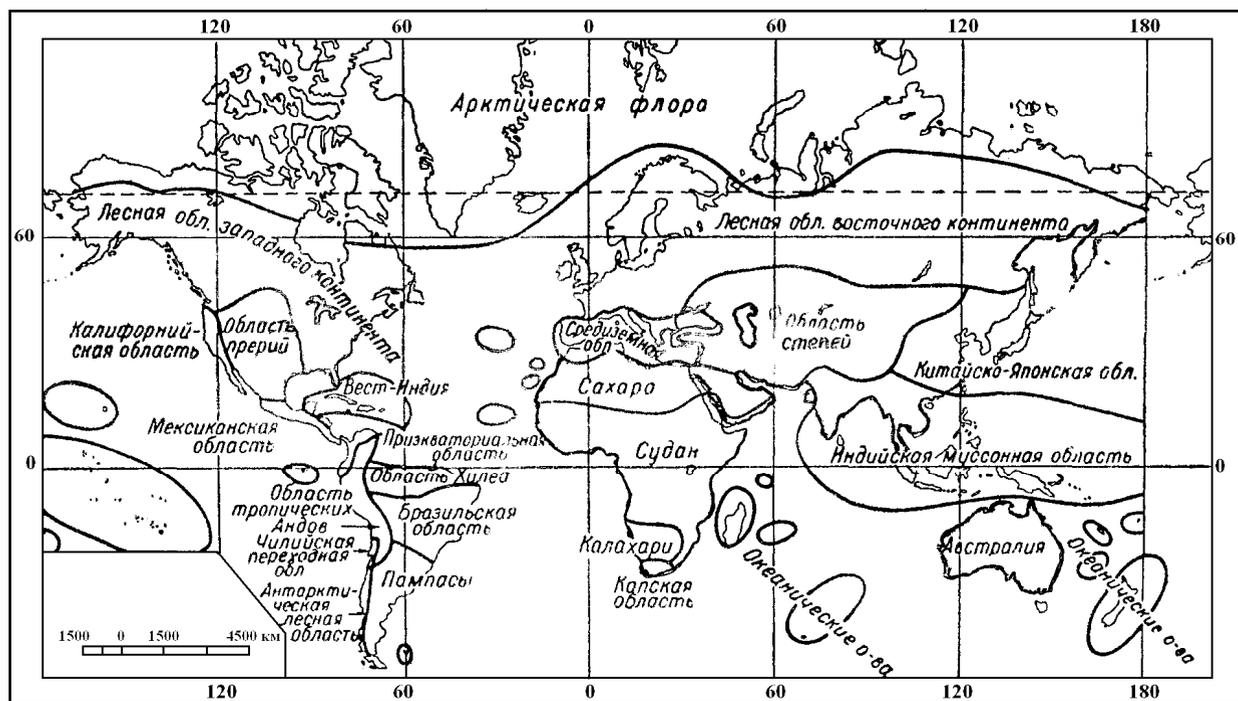


Рис. 10.1. Карта климатических областей Грizenбаха (1872 г.)

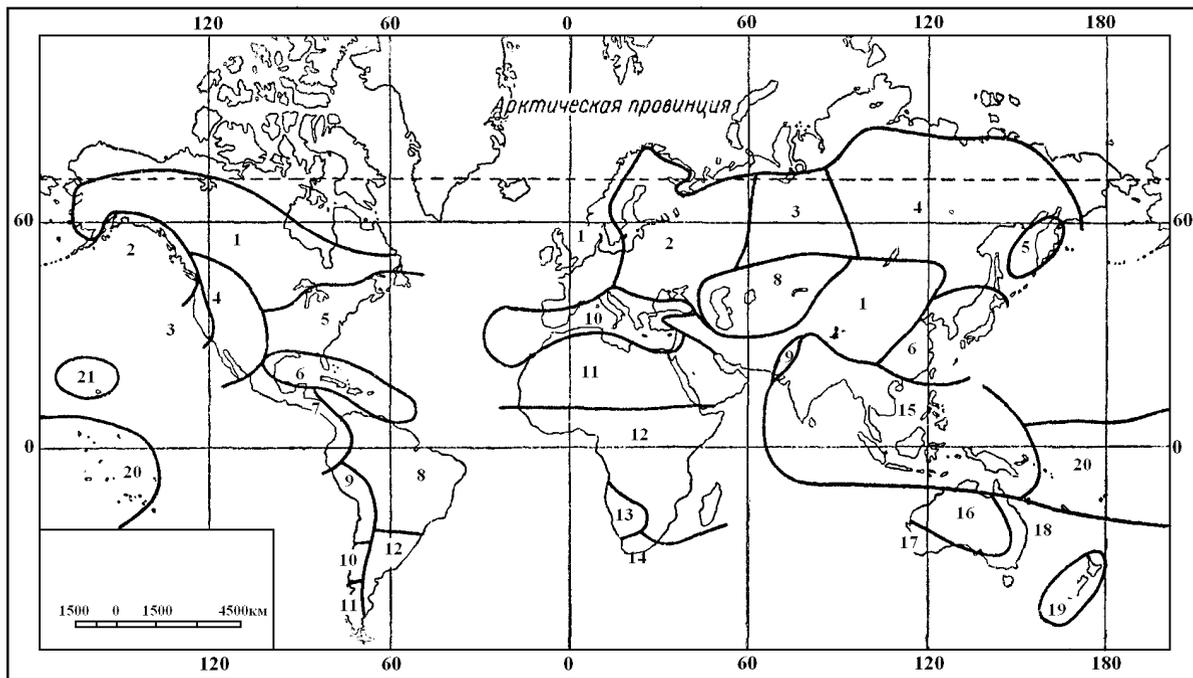


Рис. 10.2. Карта климатических провинций Зупана (1884 г.):

I – восточные континенты и острова; провинции: 1 – Западно-европейская; 2 – Восточно-европейская; 3 – Западно-сибирская; 4 – Восточно-сибирская; 5 – Камчатская; 6 – Китайско-японская; 7 – Азиатского плоскогорья; 8 – Аральская; 9 – Индская; 10 – Средиземноморская; 11 – Сахара; 12 – Африканская тропическая; 13 – Калахари; 14 – Капская; 15 – Ост-Индостроавстралийская муссонная; 16 – Внутренняя австралийская; 17 – Юго-западная австралийская; 18 – Восточно-австралийская; 19 – Новозеландская; 20 – Полинезийская; 21 – Гавайская;

II – Америка; провинции: 1 – Гудзонская; 2 – Северо-западная приморская; 3 – Калифорнийская; 4 – Нагорья; 5 – Атлантическая; 6 – Вест-индская; 7 – Тропическая провинция Кордильер; 8 – Тропическая южно-американская; 9 – Перуанская; 10 – Северного Чили; 11 – Южного Чили; 12 – Пампасов; 13 – Арктическая; 14 – Антарктическая

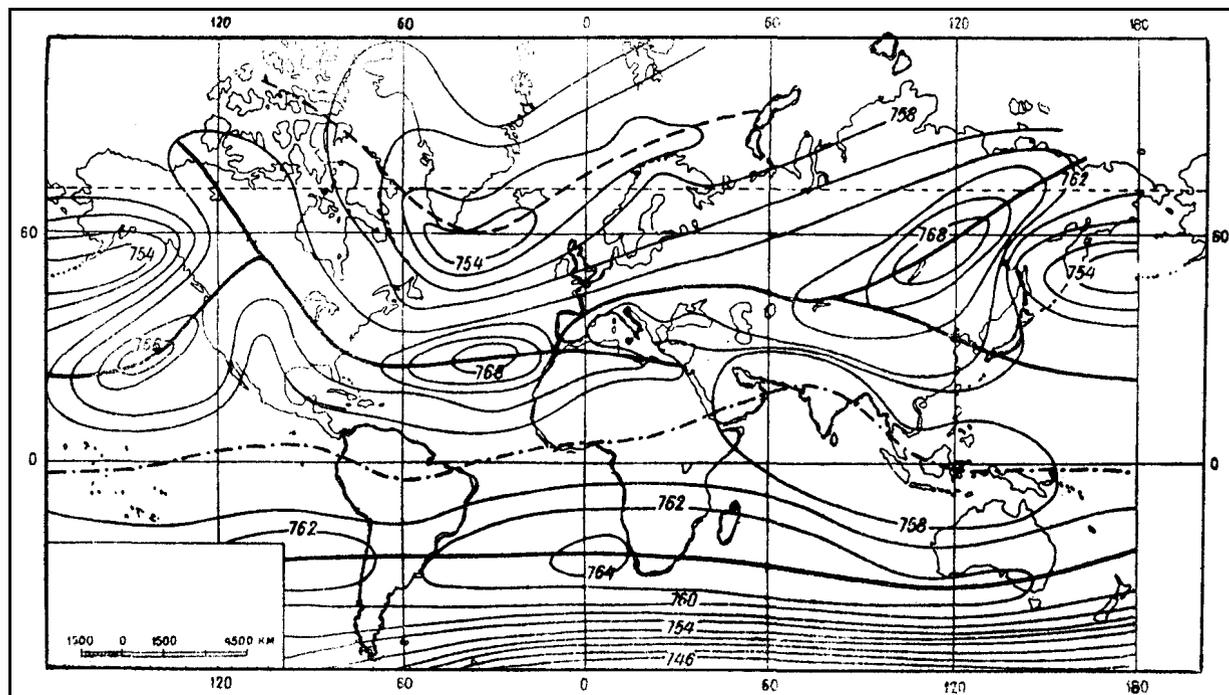


Рис. 10.3. Средний годовой барический рельеф (в мм) и климатические зоны Бруна (1925 г.):

- _____ – ось полярного минимума;
- _____ – оси затропических максимумов;
- _____ – ось экваториального минимума

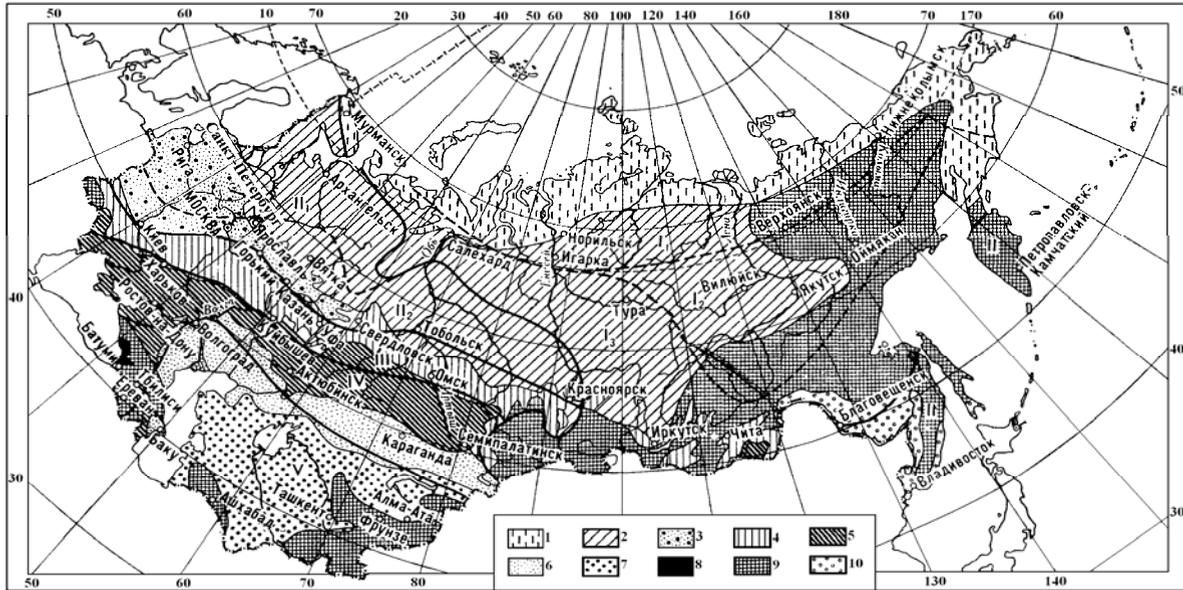


Рис. 10.4. Ландшафтное районирование СНГ и стран Прибалтики (по акад. Л.С. Бергу) и дорожно-климатическое районирование азиатской части России:

- 1 – тундра; 2 – тайга; 3 – смешанный лес; 4 – лесостепь; 5 – степь; 6 – полупустыня; 7 – пустыня; 8 – субтропики; 9 – горные районы; 10 – широколиственные смешанные леса; I-V – дорожно-климатические зоны

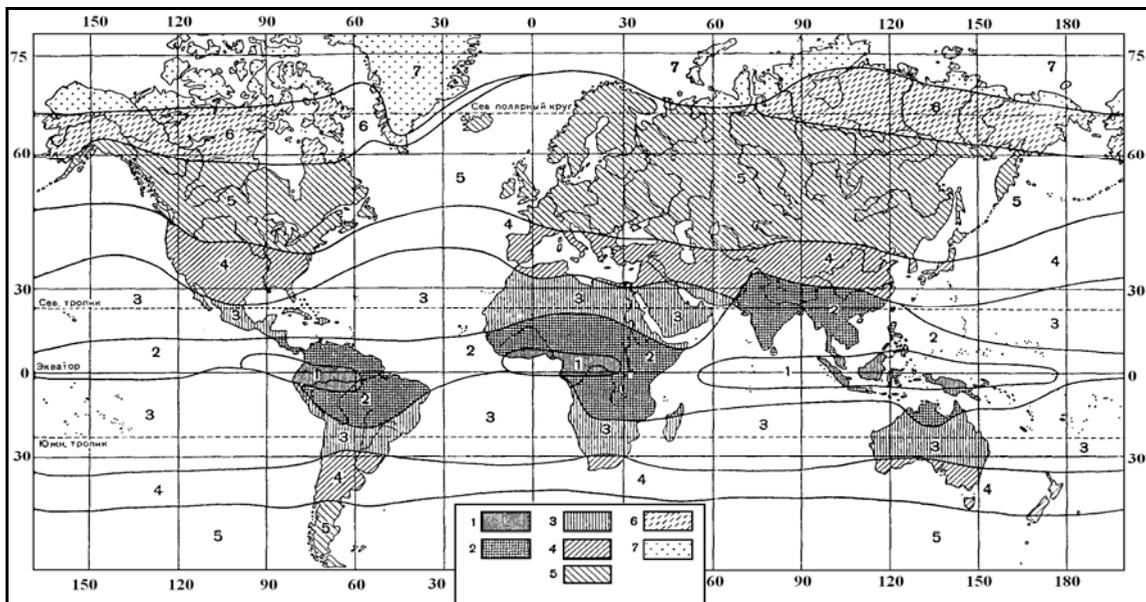


Рис. 10.5. Схематическая карта климатических зон по Б.П. Алисову:

- зоны: 1 – экваториального воздуха; 2 – экваториальных муссонов; 3 – тропические; 4 – субтропические; 5 – умеренных широт; 6 – субполярные; 7 – полярные

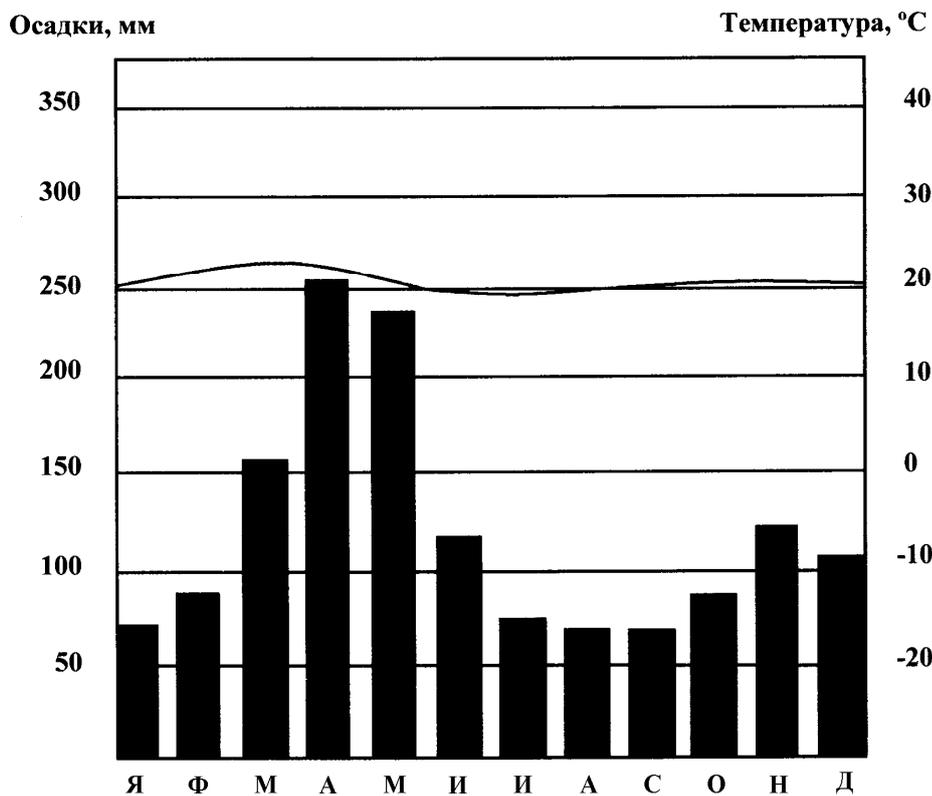


Рис. 10.6. Тропический влажный, или экваториальный климат

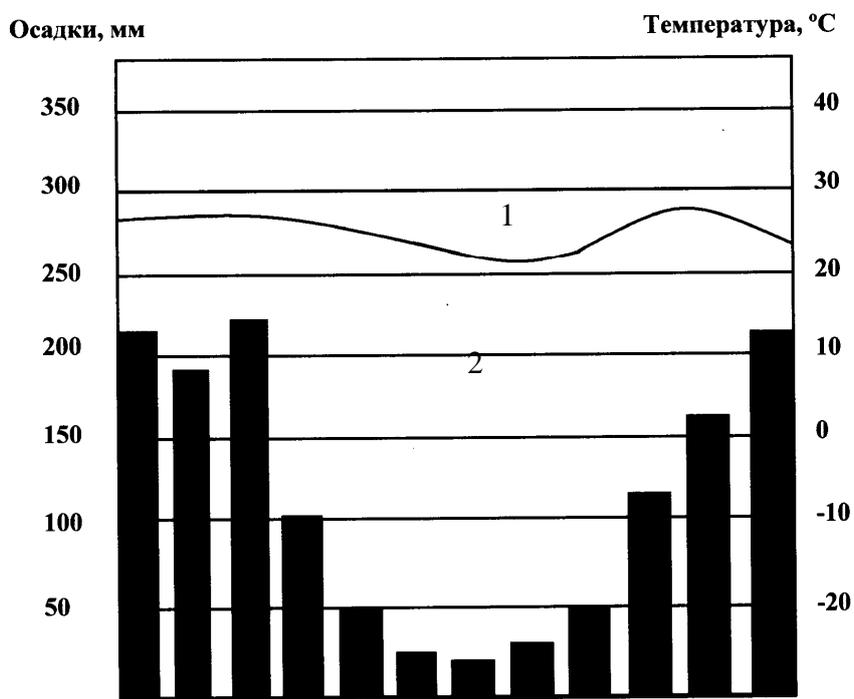


Рис. 10.7. Тропический переменновлажный климат:
1 – температура; 2 – осадки

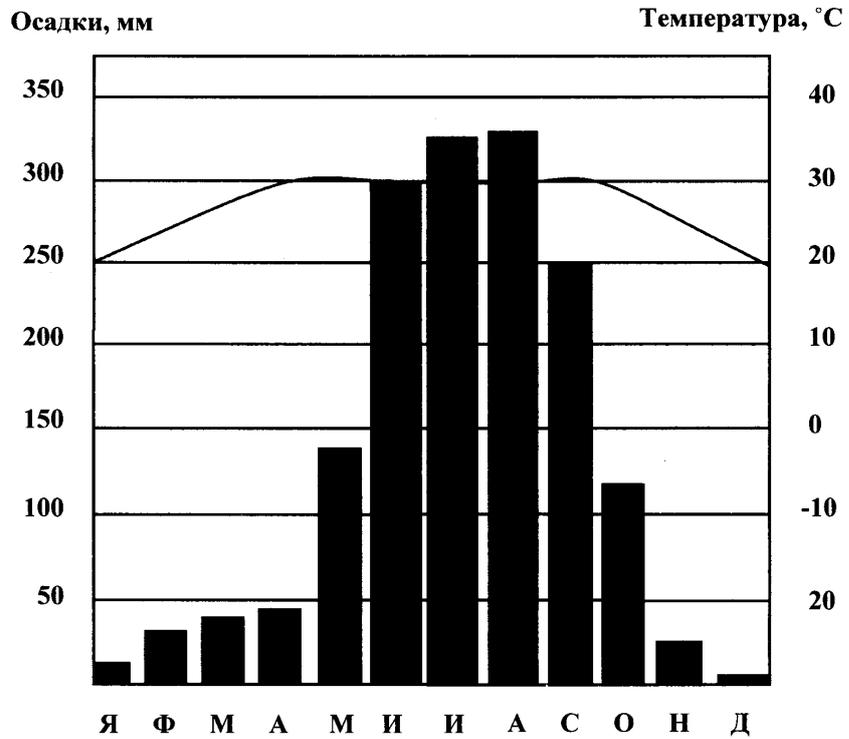


Рис. 10.8. Тропический муссонный климат

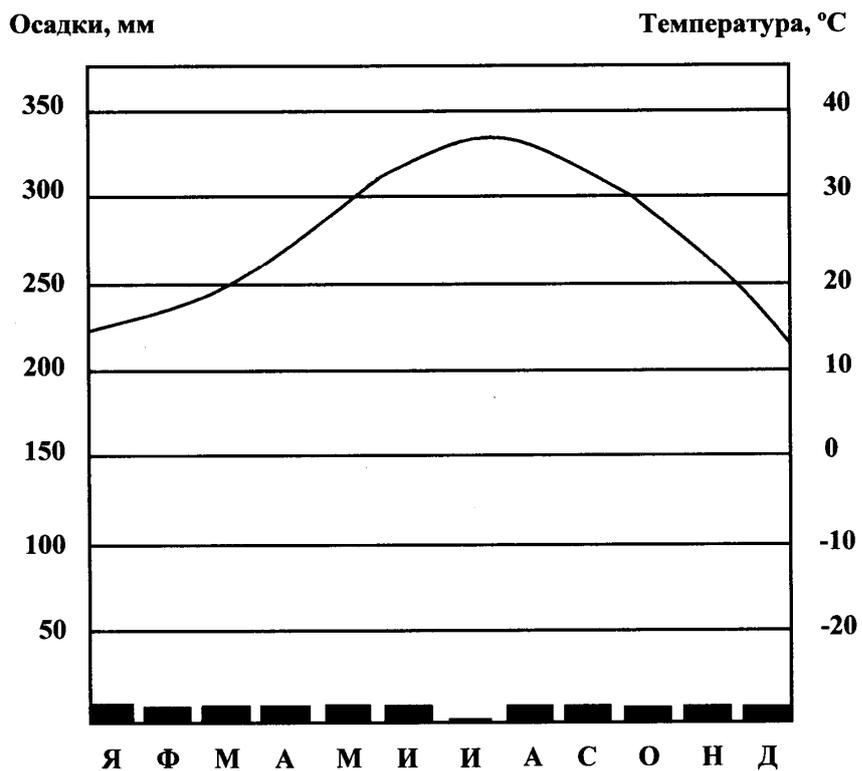


Рис. 10.9. Жаркий пустынный климат

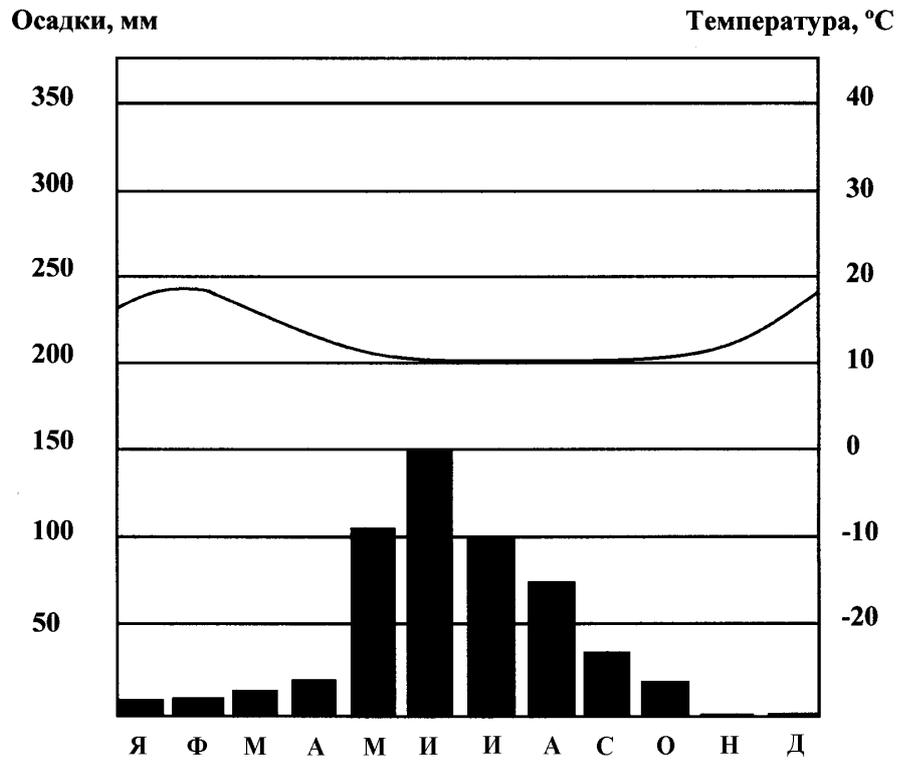


Рис. 10.10. Средиземноморский климат

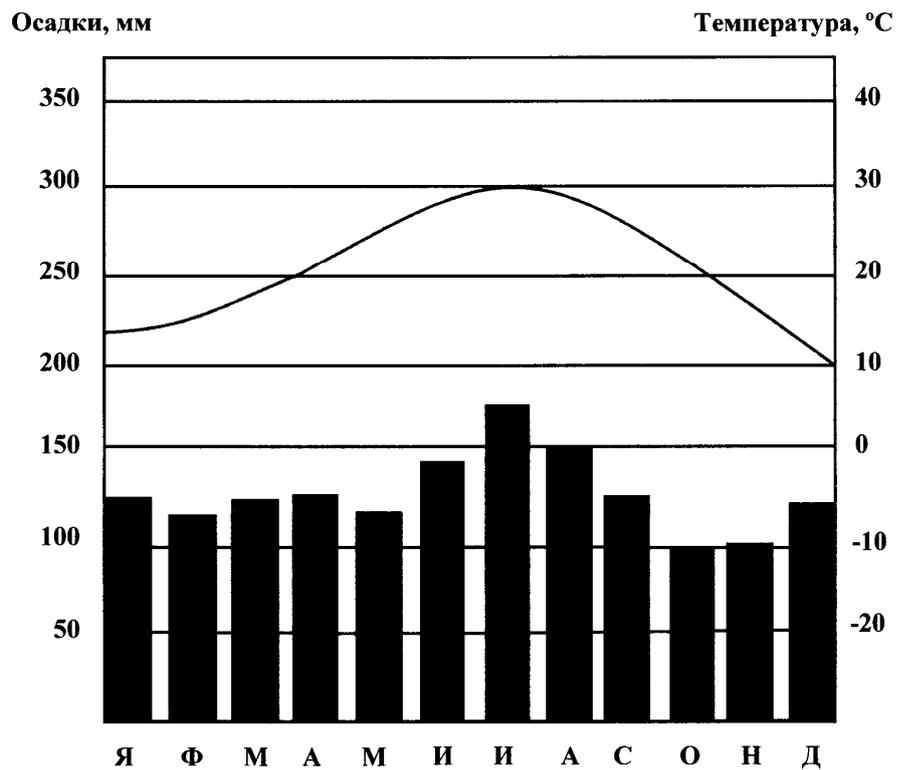


Рис. 10.11. Субтропический климат

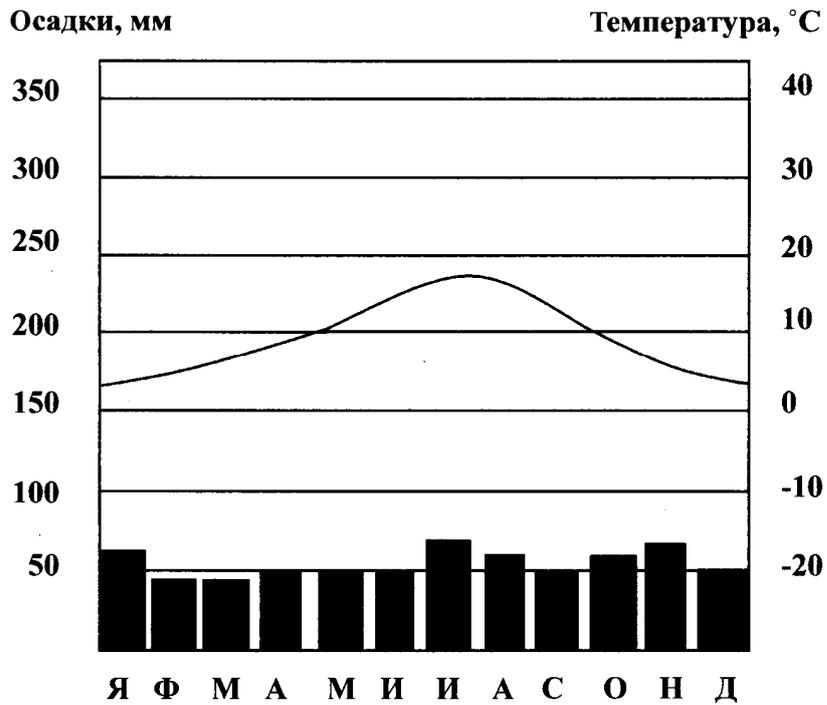


Рис. 10.12. Умеренный морской климат

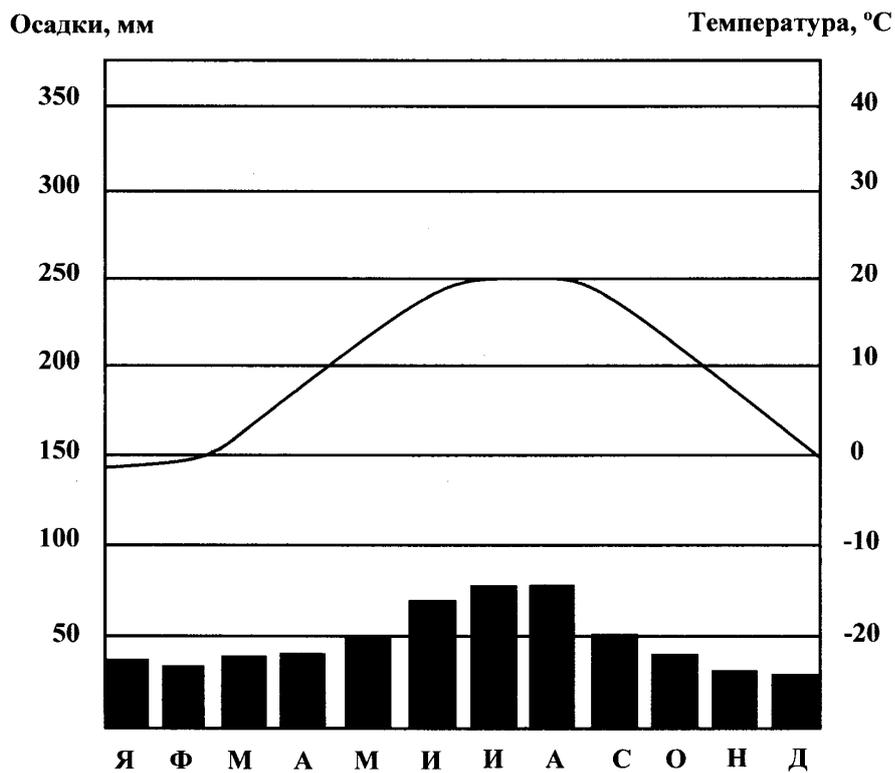


Рис. 10.13. Умеренный континентальный климат

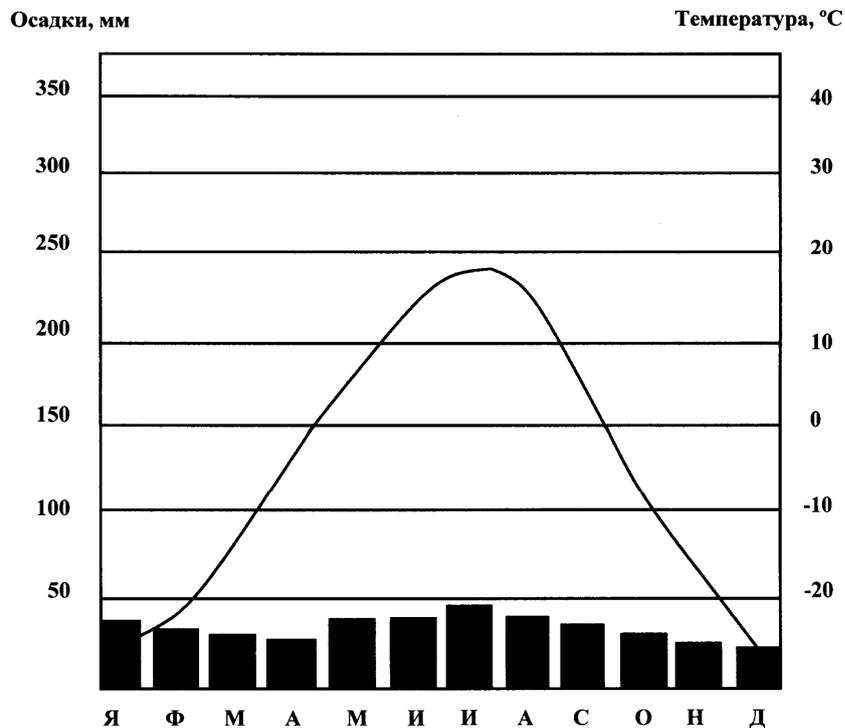


Рис. 10.14. Бореальный климат

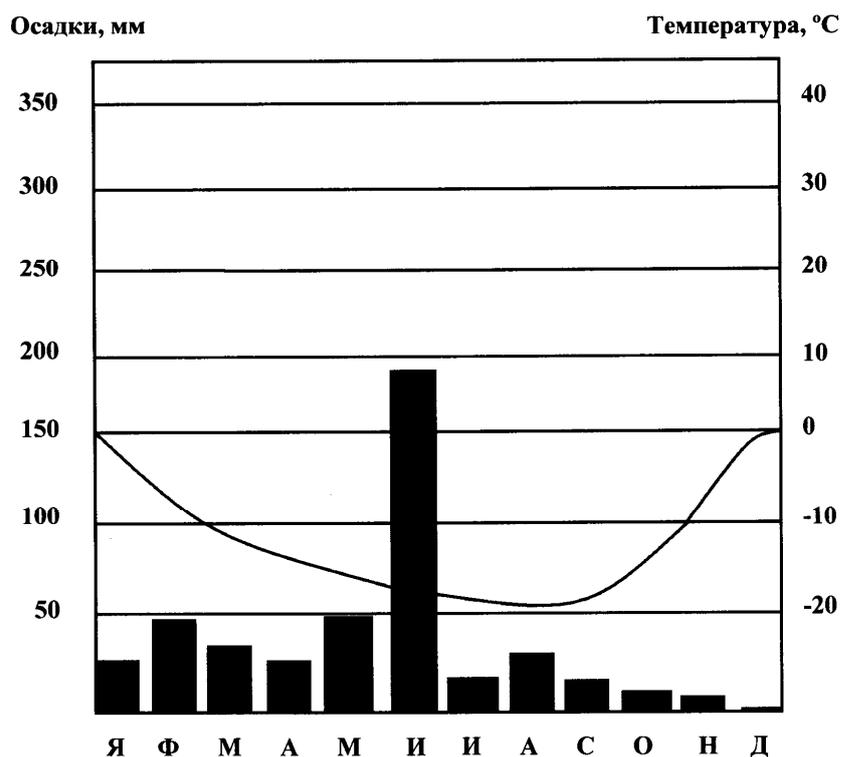


Рис. 10.15. Полярный климат

Климат Беларуси – умеренно континентальный, т.е. переходящий от морского к континентальному. Летом воздушные массы с запада приносят пасмурную и дождливую погоду, зимой – потепление. В отдельные годы увеличивается континентальность климата: зима – более холодная, а лето – более жаркое, и выпадает меньше атмосферных осадков. В столице республики городе Минске наблюдаются значительные колебания температуры: от $-7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 3-й декаде января до $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ во 2-3-й декадах июля. В среднем за год выпадает 646 мм осадков, из которых 1/3 приходится на холодный период года и 2/3 – на теплый. Годовой радиационный баланс на значительной части территорий положительный и составляет от 1500 до 1800 МДж/м².

10.3. Погода и основы ее прогнозирования

10.3.1. Основные характеристики погоды

Погода – это состояние атмосферы в той или иной местности в определенный момент или ограниченный промежуток времени (сутки, неделю, месяц, год). Погода играет решающую роль в производственных процессах, в организации сельского хозяйства, состоянии здоровья людей, их бытовом укладе и т.п. Прогноз погоды ежедневно передают все информационные службы, и эта информация интересует всех.

Многолетний режим погоды составляет климат. Погода обусловлена **физическими процессами**, которые совершаются при взаимодействии атмосферы с космосом и земной поверхностью, и постоянно меняется. Периодические изменения погоды обусловлены вращением Земли вокруг своей оси (суточный ход) и вокруг Солнца (годовой ход), непериодические – процессами циркуляции атмосферы. Наиболее существенные изменения погоды происходят в связи с перемещением и эволюцией воздушных масс, атмосферных фронтов, циклонов; несущественные, – в основном, под влиянием циркуляционных факторов.

Вторую группу факторов, влияющих на изменения погоды, составляют **трансформационные факторы**, т.е. процессы поглощения и излучения радиации и связанный с ними суточный и годовой ход метеорологических элементов.

Третью группу факторов, влияющих на изменение погоды и атмосферной циркуляции в том или ином районе, составляют **орографические, или местные факторы**, обусловленные неоднородностями земной поверхности.

Погода характеризуется приблизительными, упрощенными терминами (холодная, теплая, горячая, сухая, дождливая) или совокупностью метеорологических величин (температура, относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность, солнечная радиация, атмосферные осадки и др.) и атмосферных явлений (дождь, туман, гололедица, гроза и др.).

Подробную характеристику фактической погоды и прогноз на некоторую перспективу дают метеорологические станции. Кроме того, составляются карты погоды определенной местности на определенные даты или периоды.

Образец ежедневного бюллетеня погоды, выдаваемого Гомельским областным центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, представлен на рис. 10.16.

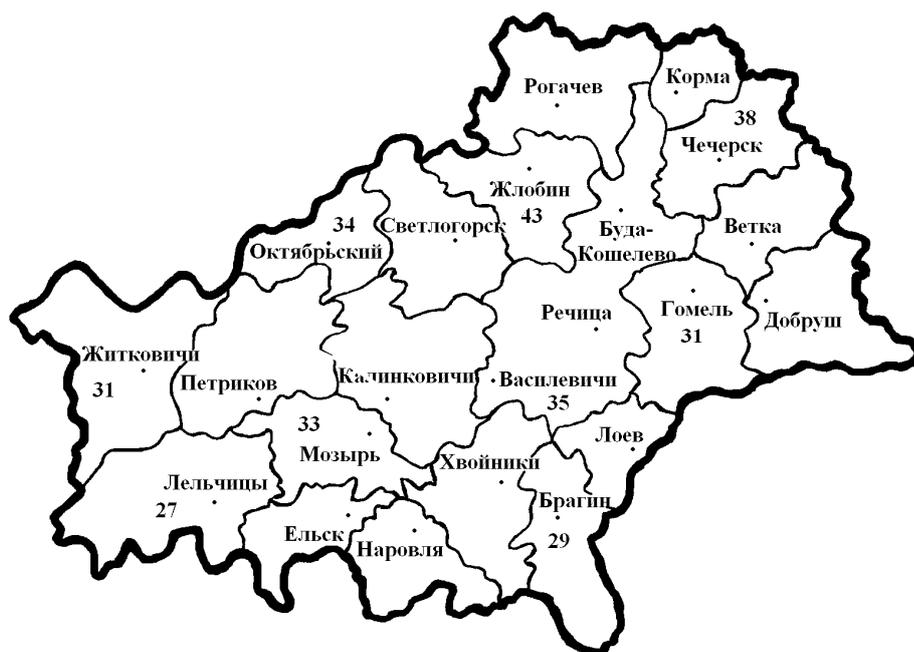


Рис. 10.16. Карта погоды по Гомельской области за 31 января 2004 г. Условные обозначения (цифры обозначают высоту снега в см по данным измерений в 8 час. 31.01)

Пример.

**Обзор основных явлений погоды по Гомельской области
с 8 час. 30 января до 8 час. 31 января 2004 года**

В прошедшие сутки территория области находилась под влиянием поля повышенного давления, что вызвало похолодание. Средняя суточная температура воздуха равнялась -4...-7 град, что, в основном, на 1-4 град выше нормы; по крайнему западу она понижалась до -10 град и была на 4 град ниже обычных значений. Дневные температуры воздуха составляли -1...-6 град, кое-где на северо-западе -8 град; ночью воздух охлаждался до -11...-13 град, в отдельных районах на юге – до -17 град. Кое-где на западе области прошел небольшой снег, местами отмечались туманы.

Таблица 10.1

Гидрологические сведения за 8 ч 31 января 2004 года

Вид доски	Скорость ветра при положении доски возле штифта														
	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7
Легкая	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17	20
Тяжелая	0	2	4	6	8	10	12	14	16	19	20	24	28	34	40

Название метеостанций и постов	Температура воздуха, °С			Количество осадков за сутки, мм	Высота снежного покрова, см в 8 ч	Глубина промерзания почвы, см	Максимальная скорость ветра, м/с	Явления погоды
	нормальная вчера днем	средняя суточная за прошлые сутки	минимальная сегодня ночью					
Гомель	-4	-4	-13		31			туман
Октябрь	-8	-7	-13		34			туман
Жлобин	-5	-6	-12		43			
Чечерск	-5	-5	-13		38			
Житковичи	-5	-10	-13	0,7	31			
Мозырь	-6	-7	-12		33			
Василевичи	-1	-6	-13		35			
Лельчицы	-4	-10	-11		27			туман
Брагин	-5	-6	-17		29			туман
Хойники	-5	-5	-13					
Светлогорск	-6	-7	-13					
Лоев	-5	-4	-13					

Прогноз погоды от 20 ч 31 января до 20 ч 1 февраля 2004 года

По Гомелю. Облачно. Днем временами – снег, метель. На дорогах местами – гололедица. Ветер южный 7-9 м/с, порывы до 14 м/с. Температура воздуха ночью -10...-12°, днем -4...-6°.

По Гомельской области. Облачно. Днем на большей части территории – снег, метель, местами снег сильный. На отдельных участках дорог – гололедица. Ветер южный 7-12 м/с, днем местами порывы до 15-20 м/с. Температура воздуха ночью -8...-13°, днем -2...-7°.

По Гомельской области на 23 февраля. Облачно с прояснениями. Ночью 2.02 и 3.02 временами – осадки, днем 2.02 и 3.02 местами – кратковременные осадки, слабый туман, на дорогах – гололедица. Ветер западный 4-9 м/с. Температура воздуха ночью 0...-5°, днем -2...+3°.

Прогноз погоды по области на февраль 2004 года

Средняя месячная температура воздуха ожидается на 1° выше нормы (-5...-7°). Месячное количество осадков предполагается близким к средним многолетним значениям (норма – 28-40 мм).

Прогнозирование погоды осуществляется на основе обширных системно собранных метеорологических данных. При этом используются методы обобщения, сопоставления и экстраполяции. Метеорологические величины наносят на синоптические карты (рис. 10.17, 10.18), которые являются наглядным средством при оценке текущей метеорологической обстановки. Прогнозы на основании синоптического анализа уже известных закономерностей позволяют достаточно точно предсказывать динамику атмосферных явлений, а следовательно, и погодные характеристики для различных районов Земного шара (рис. 10.19). Успешное прогнозирование погоды не может быть обеспечено без тщательной координации работы всех метеостанций и международного сотрудничества в области метеорологии. С учетом этого развернута и проводится обширная деятельность Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Прогнозы погоды являются одним из видов научного предвидения. Чем сложнее явление погоды, тем больше причин и условий, влияющих на его возникновение и дальнейшее течение, и тем труднее дать прогноз этого явления. Правильные прогнозы погоды относятся к числу важнейших и одновременно сложнейших проблем современной науки.

Огромное значение правильных прогнозов погоды для авиации и всех других видов транспорта, для сельского хозяйства и всех прочих отраслей народного хозяйства, а также для нужд обороны страны, очевидно. Умелое использование прогнозов погоды позволяет лучше планировать производственную работу предприятий, культурные мероприятия, повысить производственные успехи, в ряде случаев сохранить большие материальные ценности и жизнь многих людей.

Прогнозом погоды занимаются метеорологические службы. Прогнозы могут быть краткосрочными и долгосрочными. Белгидрометцентр считает, что несмотря на высокий уровень развития всей мировой синоптической сети, максимально точный прогноз погоды можно сделать не более чем на 5 суток. Все остальные прогнозы – на декаду, месяц, год – в определенной степени являются теоретическим предположением, хотя и основанным на весьма серьезном метеорологическом и климатическом анализе.

Рис. 10.17. Общий вид синоптической карты Европы (06.10.2004)

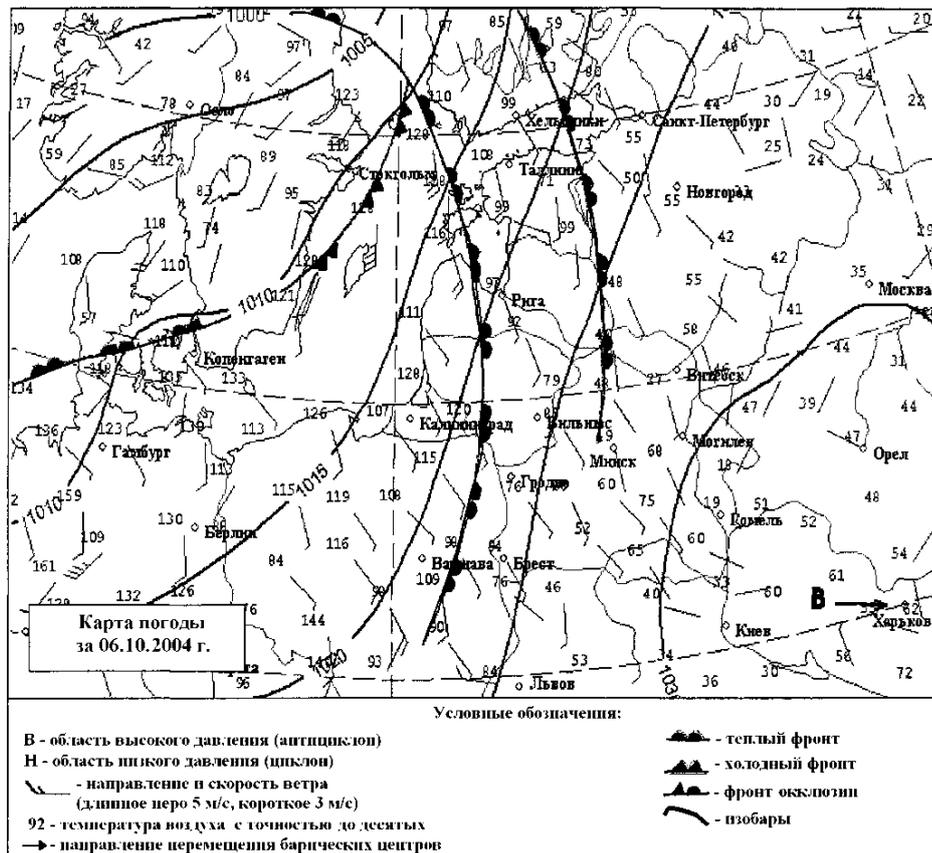


Рис. 10.18. Синоптическая карта погоды (фрагмент из ежедневного бюллетеня)

В целях дальнейшего решения проблем прогноза погоды ведутся работы в следующих направлениях:

1. увеличение числа метеорологических станций;
2. изучение теории атмосферных процессов и изменений погоды;
3. совершенствование синоптических методов прогноза погоды;
4. обобщение опыта прогностической работы синоптиков в целях улучшения практических приемов прогноза каждого метеорологического элемента.

10.3.2. Прогнозирование погоды по местным признакам

На основании данных об атмосферном давлении, температуре воздуха, направлении и скорости ветра, виде и движении облаков можно судить о погоде и ее изменениях. Изменения погоды происходят постепенно. Если сегодня, например, такая же погода, какая была вчера, и нет никаких признаков ее изменения, то и завтра следует ожидать, что она будет такой же, как сегодня.

Признаками устойчивой хорошей погоды в летний период являются:

- 1) колебания атмосферного давления в течение суток незначительны – около одной цифры барометра – или давление медленно и непрерывно поднимается;
- 2) повышение температуры после восхода солнца до 14-15 часов и затем – ее падение с заметным скачком вниз после его захода; ночь – прохладная или холодная;
- 3) утром небо совсем ясное или с неподвижными облачками высокого яруса, тающими до полудня, заря золотистая, солнце показывается не из-за облаков; могут появиться кучевые облака, развивающиеся с количественным увеличением, но к закату постепенно исчезающие; солнце садится не в тучи; небо на закате – светло-розовое или золотистое; ночь – ясная, звездная; луна блестит ярко, звезды мерцают зеленоватым цветом;
- 4) обильная роса после заката, ночью и утром; вечерний и ночной туман в долине реки, над облаками, в низинах (поднимаясь, он быстро рассеивается);
- 5) ночью – штиль; легкие порывы ветра перед восходом; постепенное усиление ветра до умеренного и даже до свежего по мере прогрева атмосферы; ослабление к закату до штиля;

б) рано просыпаются мухи; чуть свет вылетают из улья пчелы; ласточки и стрижи высоко летают в небе; комары летают роем; жуки проносятся с громким жужжанием; стадо идет домой спокойно.

Перечисленные признаки, однако, характерны для однородных воздушных масс, температура которых зависит от нагрева земной поверхности в данном месте днем и охлаждения ночью.

Признаки перемены погоды от устойчивой хорошей к ненастной:

1) давление понижается иногда быстро, иногда медленно в зависимости от причин перемены погоды (считают, что чем медленнее понижение, тем устойчивее будет ненастье, и наоборот);

2) нарушение суточного хода температуры; похолодание после заката становится незначительным или не наблюдается совсем; на холме и в низине одинаково тепло; днем и ночью температура почти не меняется;

3) в северо-западной или юго-западной части горизонта появляются перистые и перисто-слоистые облака; они исходят из одного центра и расходятся веером; во время зари, особенно утром, в небе видны багровые лучи; горизонт на востоке словно бы затянута кумачом, из-за которого показывается красный солнечный диск; утром появляется радуга; туманы после рассвета не исчезают и довольно быстро превращаются в низкие слоистые облака; днем и вечером хорошо видны яркие лучи, которые стрелами расходятся из-за облаков, закрывающих солнце; ночью необыкновенно сильно мерцают звезды, в их мерцании отчетливо выделяются красный и синий цвета; луна краснеет;

4) отсутствуют признаки вечернего охлаждения земли; нет росы и тумана; ночью или под утро начинается дождь;

5) ветер меняет направление, не прекращается после захода солнца и дует ночью; дым из труб и от костра стелется понизу;

б) почти все цветы на лугу и в саду, особенно кусты сирени, жасмина и желтой акации, сильно благоухают; на широких листьях конского каштана появляются “слезы” – липкие капельки сока; нахохливаются и купаются в пыли куры и воробьи; скот днем спит и мало пьет; коровы, возвращаясь вечером домой, мычат; сильно гудят телеграфные провода; соль становится влажной.

Признаки ненастья характерны в случае приближения теплого фронта. Однако, взятые в отдельности, они могут дезориентировать наблюдателя, так как их проявления могут появиться и при развитии других погодных процессов.

Признаки окончания ненастья:

1) давление повышается, иногда быстро, иногда медленно, но всегда возрастает;

2) температура приобретает нормальный суточный ход; во время дождя происходит похолодание;

3) сначала проходят и исчезают облака плохой погоды, затем в сплошной пелене слоисто-дождевых облаков появляются разрывы, и в них – голубое небо с неподвижными пористыми и кучевыми облаками;

4) равномерный облачный дождь (или снег) переходит в резкие, различной интенсивности ливни (или порывы пурги) или вырождается в мелкие порывы; в низинах встает туман;

5) ветер еще во время дождя усиливается, делает резкий поворот, особенно в северо-западном и северном направлении.

Кроме прогнозирования погоды, которое выполняют синоптики часто прибегают к предсказанию, основанному на различных погодных приметах. Эти приметы можно разделить на следующие группы:

1) внешний вид неба;

2) поведение животных;

3) состояние погоды в дни, посвященные святым, и т.п.

Многие приметы действительно позволяют судить о предстоящей погоде, но в целом прогнозирование требует учета всей совокупности метеорологических и природно-географических факторов и может осуществляться с необходимой точностью лишь на научной основе.

10.3.3. Народные приметы погоды

Народные приметы устанавливались и применялись людьми на протяжении многих веков и содержат в себе множество наблюдений, примет, пословиц, связанных с погодой. Например: январь метет – июль зальет; январь моросистый – год мокрый, январь холодный – поздняя весна и дожди все лето; если в феврале держатся устойчивые морозы – лето жаркое; февраль холодный и сухой – август жаркий; какой первый день февраля – такие и остальные; в феврале острый мороз – короткая зима; февраль воды подпустит, а март подберет; какая вторая половина марта – такая и первая половина апреля; в марте туман – во время жатвы дождь пан; жаворонок прилетает на проталину, скворец на прогалину, журавль – с теплом, ласточка – с листом; пока гром не прогремит, земля не оттаит; апрель с водой, май с травой; когда летом на солнце попечешься, зимой на холоде натрешься; листья летят высоко – зима еще далеко.

Народные приметы говорят: если в середине октября дуют северные ветры, значит, будет теплая зима, если южные – зима должна быть мягкой. Если к середине октября не выпадет снег, земля не будет им покрыта до середины января. Если в ноябре туман, будут частые оттепели и поздняя весна; если раннее похолодание, то и ранняя весна. Если листья с дубов и берез опадают дружно и полностью – зима будет мягкая, неполностью – суровая. Если декабрь сухой – будет сухая весна и сухое лето; декабрь теплый и сырой – затяжная зима и поздняя холодная весна. Если снег мокрый и тяжелый – ожидается мокрое лето, а если сухой, легкий – сухое лето. Если 1 декабря погода хорошая – будет погожая и ранняя весна.

11. ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В БЕЛАРУСИ В XX ВЕКЕ

Интенсивное использование углеродного топлива в индустриальную эпоху приводит к увеличению содержания углекислого газа (CO_2) в атмосфере. Если за последние десятки тысяч лет концентрация CO_2 оставалась практически постоянной, то с конца XIX века к настоящему времени она увеличилась примерно на 20 %, причем большая часть этого повышения приходится на период после 1950 г. Углекислый газ – один из основных парниковых газов. Одновременно растет концентрация и других парниковых газов – метана, закиси азота, хлорфторуглеродов. Подавляющее большинство ученых-климатологов считает, что повышение концентрации парниковых газов, в первую очередь, CO_2 , может привести к глобальному потеплению. Такое потепление действительно наблюдается. В XX веке глобальная температура увеличилась примерно на 0,5 °C. На рис. 11.1 приведен опубликованный Всемирной метеорологической организацией ход температуры воздуха в северном полушарии (севернее 30° с.ш.) за последние 140 лет. Наблюдающееся здесь повышение температуры составляет примерно 0,6-0,7 °C.

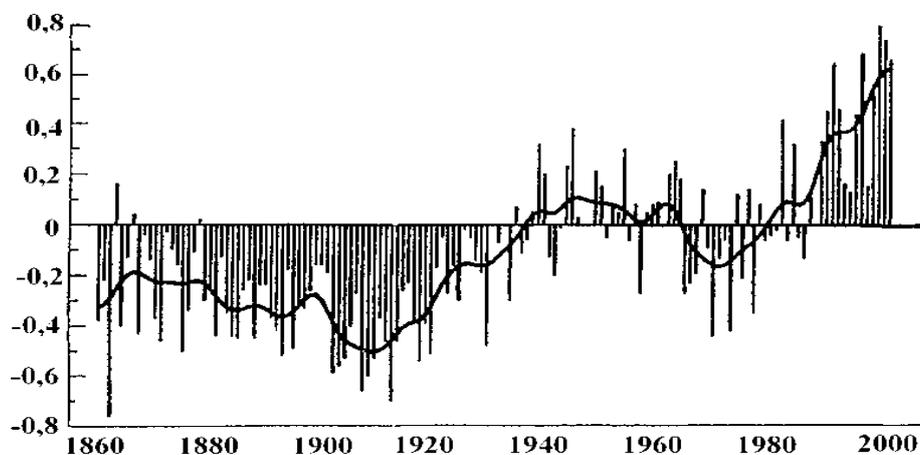


Рис. 11.1. Отклонения средней по северному полушарию (севернее 30° с.ш.) годовой температуры поверхности земли и океана от нормы за 1860-2000 гг.

Естественно, происходящие изменения имеют как глобальные, так и региональные особенности. Есть они и в Беларуси. О них можно судить по нижеизложенным данным, полученным в Республиканском гидрометеоцентре (РГМЦ) на основе проведенных исследований.

11.1. Температура воздуха

На рис. 11.2 приведены ежегодные отклонения средней по республике годовой температуры воздуха от нормы (средней многолетней температуры) за период с 1881 по 2002 год.

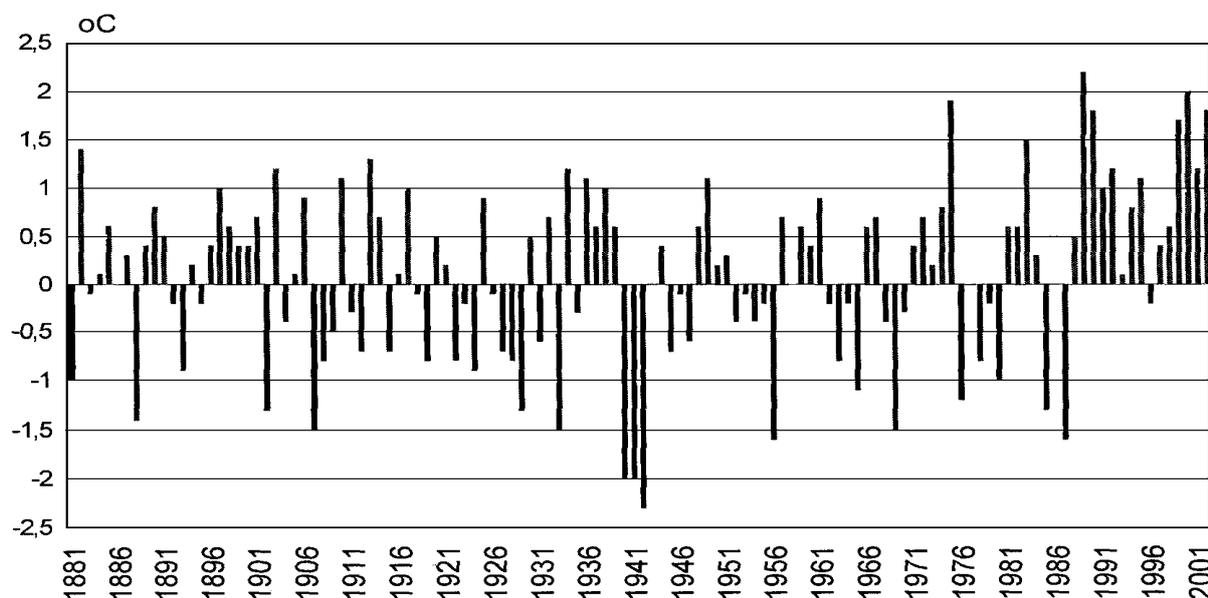


Рис. 11.2. Отклонения средней по Беларуси годовой температуры воздуха от нормы за 1881-2001 гг.

Как видно из графика, на протяжении почти всего XX века до конца восьмидесятых годов кратковременные периоды потеплений сменялись близкими по величине и продолжительности периодами похолоданий. Потепление, не имеющее себе равных по продолжительности и интенсивности, началось 1988 году, за ним последовало резкое повышение температуры зимой 1989 г. Средняя температура января и февраля этого года превысила норму на 7-7,5 °C, марта и апреля – на 3-5 °C. Лишь с мая температура стала колебаться вблизи средних значений. В целом год оказался самым теплым за столетний период, превысив норму на 2,2 °C. Подобное повторилось и в следующем 1990 г., когда в январе-марте средняя по республике температура воздуха была на 6-8,5 °C выше обычного. Лишь в связи с прохладным летом средняя годовая температура оказалась несколько ниже, чем в предыдущем году. Начавшееся потепление продолжалось и все последующие годы, включая 2002 г. (исключением стал лишь 1996 г., когда средняя годовая температура воздуха по Беларуси была на 0,2 °C ниже нормы). В среднем этот 15-летний период оказался более чем на 1° теплее обычного. При этом потепление было значительнее на севере республики (1,2 °C в Витебской области) и несколько меньше на западе (0,8 °C в Брестской и Гродненской областях).

Повышение температуры приходилось, в основном, на первые четыре месяца года (рис. 11.3). Положительная аномалия была максимальна в январе (3,7 °C) и, медленно уменьшаясь, продолжалась по апрель (2,0 °C). Температура этих месяцев в Минске примерно соответствовала средним температурам во Львове и Киеве.

В среднем более теплыми оказались и летние месяцы, хотя положительные отклонения месячных температур от нормы значительно меньше: от 0,3 °C в июне до 0,7 °C в августе. Однако следует отметить, что в последние годы температура летних месяцев значительно возросла и в 1999, 2000 и 2002 гг. превысила норму в среднем на 2 °C, что приближается по величине к аномалиям холодного периода года.

Только в переходные месяцы – май, сентябрь и ноябрь – наблюдалось в этот период некоторое понижение температуры, не превышающее 0,5 °С по сравнению со средними многолетними значениями.

Интересно отметить, что именно в эти 15 лет отмечены самые теплые за более чем столетний период наблюдений месяцы – январь, февраль, март, апрель, июнь, июль, август, ноябрь, – сезоны – зима, весна, лето – и два самых теплых года.

Еще одной особенностью периода потепления стало изменение годового хода температуры воздуха (рис. 11.3).

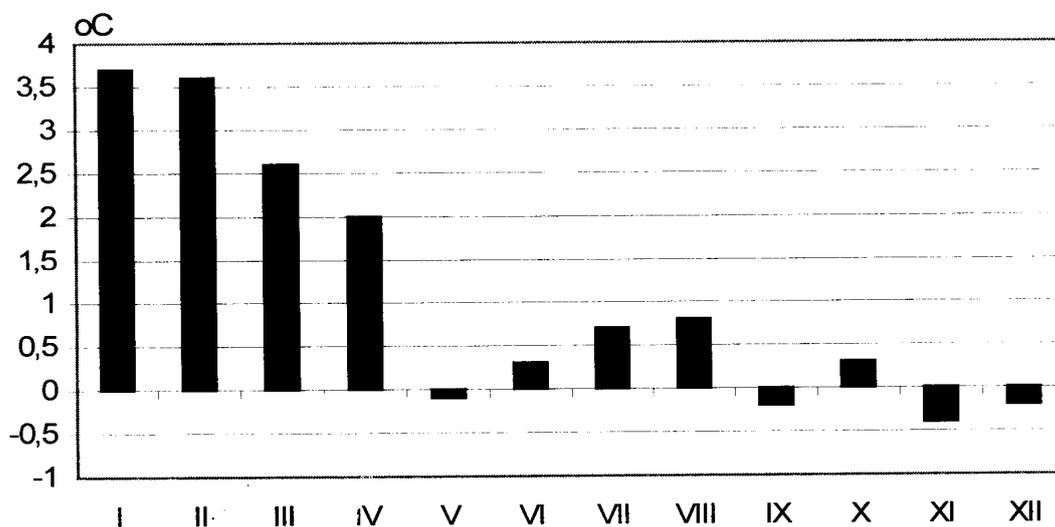


Рис. 11.3. Отклонения средней по Беларуси месячной температуры воздуха за период 1989-2002 гг. от нормы 1881-1990 гг.

Ядро зимы – период самых низких температур – в ряде лет сдвинулось на начало зимы, а в отдельные годы (1993, 1998 гг.) – даже на ноябрь, средние месячные температуры которого понижались до -5...-6 °С, т.е. были на уровне прежних январских и февральских температур. По средним месячным значениям за этот период самым холодным месяцем зимы стал декабрь.

Температурные особенности конца XX и начала нынешнего века не могли не сказаться на хозяйственной деятельности. Потепление 1988-2002 гг. привело к изменению параметров отопительного периода. Его продолжительность, например, в Минске, сократилась на 10-12 дней, средняя температура отопительного периода возросла на 1,5-1,7 °С. Это привело к тому, что число градусодней отопительного периода уменьшилось на 400-450 °, т.е. на 10-12 %.

Положительные аномалии первых весенних месяцев приводят к более раннему сходу снежного покрова и переходу температуры воздуха через 0 °С в сторону повышения. В среднем за рассматриваемый период этот переход происходил на 13 дней раньше средних многолетних значений – в начале марта в Брестской и в середине марта – в Витебской и Могилевской областях. Но все это – средние даты. В половине рассматриваемых лет переход через 0 °С отмечен в феврале, а в 1989, 1990 и 2002 гг. – в январе. Ранний устойчивый переход через 0 °С способствовал и более раннему установлению мягкопластичного состояния почвы и началу полевых работ. На декаду раньше начинался вегетационный период. Сумма активных температур выше 5 и 10° увеличилась в среднем соответственно на 110 и 60°, и изолинии сумм этих температур сдвинулись к северу примерно на 100 и 60 км.

Противоположные по знаку аномалии апреля и мая повысили опасность весенних заморозков, которые происходили на фоне активно вегетирующих растений. По средним многолетним данным, в Минске первая декада мая теплее третьей декады апреля на 2,5 °С. В последние годы это положение четырежды (в 1994, 1995, 1999, 2000 гг.) менялось на обратное, когда температура первой декады мая оказывалась на 3-7 °С ниже температуры третьей декады апреля. Так, в 2000 г. средняя температура третьей декады апреля была 17,5 °С, а первой декады мая – всего 10,7 °С. Отмеченные при этом майские заморозки нанесли значительный ущерб сельскохозяйственному производству.

Наблюдающееся изменение температуры достаточно хорошо соответствует прогнозным сценариям, что дает основание ожидать дальнейшего повышения температуры в соответствии с прогнозом. Повышение средней годовой температуры к середине XXI в. прогнозируется на уровне 2° (3° – в холодное полугодие и 1° – в теплое). Это означает уменьшение континентальности климата и по средним годовым температурам соответствует сдвигу к югу на 250-300 км.

11.2. Осадки

Большие изменения на протяжении столетия характерны и для режима увлажнения. Изменения количества выпадающих на территории Беларуси осадков на протяжении более чем 100-летнего периода иллюстрирует график – рис. 11.4.

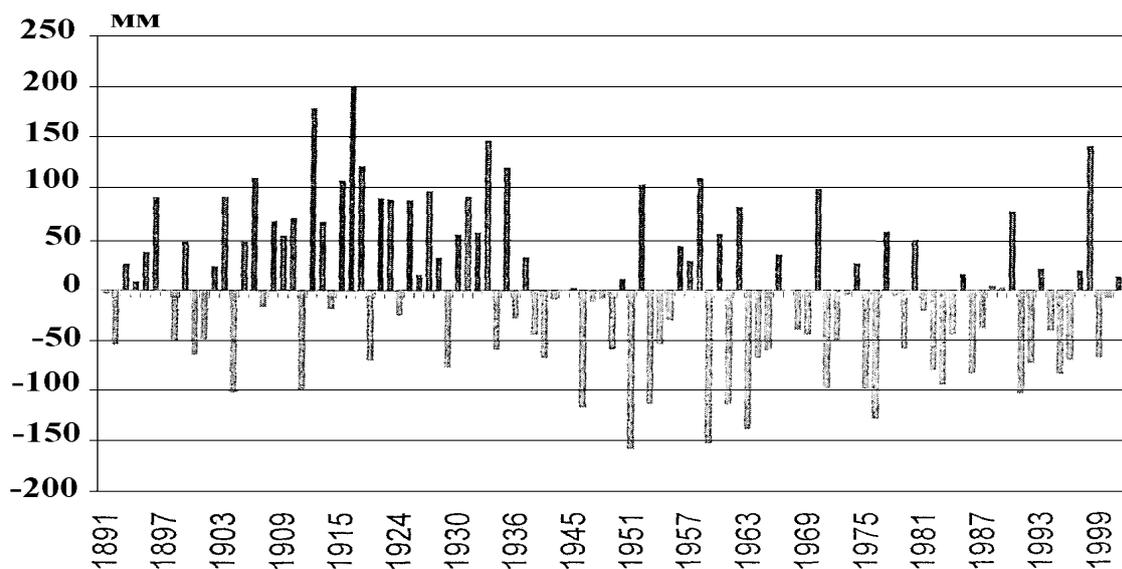


Рис. 11.4. Отклонения количества выпадающих осадков от среднего значения

Первая треть XX века характеризуется большим количеством выпадающих осадков, примерно на 60 мм (10 %) превышающим их среднее значение за последующий период. Этому соответствует и повышенный речной сток первого тридцатилетия. Осадки последующего периода не испытывают определенной тенденции к изменению.

Активное потепление конца XX века практически не отразилось на средней годовой сумме выпадающих осадков; близкими к норме оказались и средние суммы осадков как теплого (98 % нормы), так и холодного (101 % нормы) периодов года. Ниже приведено изменение сумм выпадающих осадков за период 1989-2001 гг. по областям (в % от нормы) (табл. 11.1):

Таблица 11.1

Суммы осадков относительно нормы

Области	Витебская	Минская	Гродненская	Могилевская	Брестская	Гомельская
1	2	3	4	5	6	7
Холодный период (XI-III)	114	100	103	90	95	98
Теплый период (IV-X)	101	93	96	98	93	103
Год	105	95	99	95	93	102

На севере республики (Витебская и север Минской области) осадки и холодного, и теплого периодов оказались выше нормы, а на юго-западе (Брестская и юг Минской областей) – ниже.

В теплый период произошли изменения в распределении осадков по территории республики, увеличилась контрастность. Если, по многолетним данным, годовые суммы осадков больше 700 мм наблюдались только на небольших возвышенных территориях в районе Лынтуп, Воложина и Новогрудка, то в среднем за период потепления суммы, большие 700 мм, имеют место, кроме указанных районов, и на северо-востоке (Полоцк, Витебск, Езерище), и в районе Борисова, Березинского заповедника, и на юге (Житковичи). С другой стороны, суммы, меньшие 600 мм, были характерны лишь для районов крайнего запада (Гродно, Высокое) и юго-востока страны (Брагин). За последние годы эти районы заметно расширились, и к ним добавился юго-запад страны (районы Бреста, Пинска, Лунина) и центральный район (Столбцы, Марьина Горка, Слуцк). Особенно следует отметить заметное – почти на 100 мм – увеличение осадков в районе Житковичей (годовая сумма – 748 мм, норма – 655 мм). Столь же резкое уменьшение осадков отмечено на осушенных торфяниках в районе метеостанции Полесская (годовая сумма – 566 мм при норме 668 мм). Если, по многолетним данным, годовая сумма осадков в Житковичах и Полесской не выделялась среди станций Полесья, то, по данным за период потепления, в Житковичах выпало осадков больше, чем в любой части республики (исключая только Лынтупы); в Полесской же было суше, чем во всей Беларуси, исключая крайний юго-восток (Брагин).

Тенденция пространственного изменения осадков хорошо видна на карте рис. 11.5.

Если в отмеченный период потепления средние суммы осадков не претерпели значительных изменений, то заметно увеличилась неравномерность выпадения осадков как внутри года, так и в целом за отдельные годы. В течение 8 лет из 14 (1989-2002 гг.) в республике отмечались засушливые условия на протяжении двух и более месяцев в период активной вегетации растений. Следует также отметить, что в течение всех лет периода потепления месячные суммы осадков в августе на всей территории были меньше нормы в среднем на 20 %.

В то же время в этот период отмечаются и исключительно влажные годы и периоды. Так, в 1998 году обильными были осадки на протяжении всего года, но особенно влажными были июнь и июль, когда даже в среднем по республике выпало 1,5 нормы осадков, что вызвало затопление значительных территорий Полесья и посевов на тяжелых почвах севера республики. Обильные осадки и связанное с ними переувлажнение почвы отмечены в первой половине лета 1991 г. и во второй половине лета 1993 г.



Рис. 11.5. Изменение (в процентах) годовой суммы осадков за период 1989-2001 гг. по отношению к норме за 1891-1990 гг.

11.3. Ветер

С 70-х годов XX века в Беларуси, как и в ряде районов Европейской России и Западной Сибири, наблюдается снижение скорости ветра. На графике (рис. 11.6) приведена погодичная скорость ветра за 50-летний период регулярных измерений, осредненная по всей территории Беларуси.

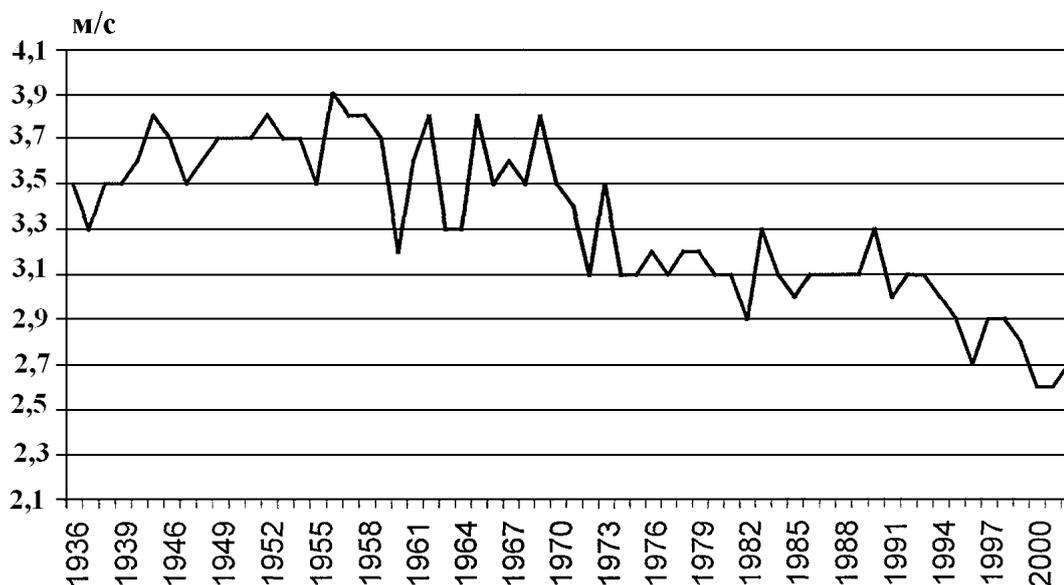


Рис. 11.6. Средняя по Беларуси годовая скорость ветра

Средняя скорость ветра по периодам имеет следующие значения:

1940-1970 –	1971-1980 –	1981-1990 –	1991-2001 –
3,6 м/с	3,2 м/с	3,1 м/с	2,9 м/с

Как известно, в формулы ветровой нагрузки и энергии, переносимой ветром, скорость ветра входит в квадрате и кубе, поэтому наблюдаемое уменьшение скорости является весьма существенным. В частности, оно означает уменьшение переносимой энергии в среднем более чем в 1,5 раза.

Сейчас нет достаточно обоснованных прогнозов того, как будет меняться скорость ветра в ближайшие десятилетия. Но сам факт уменьшения скорости ветра, даже просто как возможные колебания, должен учитываться в соответствующих расчетах, в частности, при разработке нетрадиционных источников энергии.

11.4. Стихийные метеорологические явления

К стихийным метеорологическим явлениям относятся те, которые по своим последствиям выходят за рамки обычных максимальных природных явлений. Часть стихийных явлений (например, грозы, град, разрушительные смерчи) обычно локальны. Но некоторые (заморозки, засуха, пожароопасность, разрушительные шквалы) охватывают значительную территорию и наносят большой ущерб экономике страны. Ниже приведена краткая информация об изменении характеристик этих явлений за годы установившегося потепления.

11.5. Заморозки

В наиболее заморозкоопасные месяцы – май и сентябрь – повышение температуры не наблюдалось; наоборот, для них характерна небольшая отрицательная аномалия (рис. 11.3). Поэтому вполне закономерно некоторое увеличение заморозков в этот период, более значительное в южной части республики, в среднем на 25 % (на севере – около 10 %). В результате среднее число дней с заморозками в южной части страны приблизилось к таковым в северной.

Существенное увеличение заморозков в южной части республики, вероятнее всего, связано не с общим изменением климата, а с последствиями осушительной мелиорации на большой территории юга Беларуси.

Значительные потери сельскохозяйственного производства от заморозков в последние годы обусловлены, главным образом, существенными положительными аномалиями температуры периода, предшествующего весенним заморозкам. Увеличение в среднем почти на 2 °С средней месячной температуры апреля приводит к ускоренному развитию растений, а, как известно, наибольшую опасность представляют наиболее поздние заморозки, обрушивающиеся на активно вегетирующие растения. Опасность осенних заморозков не столь значительна, так как предшествующие положительные аномалии температуры приводят к более раннему созреванию сельскохозяйственных культур.

11.6. Разрушительные шквалы

Разрушительные шквалы наблюдаются при повышенном температурном режиме в теплый период года в предгрозовой обстановке. Эти стихийные явления становятся разрушительными при скоростях ветра 25 м/с и более. Наблюдаемое в последнее время уменьшение средних скоростей ветра не сопровождается уменьшением шквалистых разрушительных усилений ветра. Разрушения от шквалов в республике регистрируются практически ежегодно (в 86 % лет). В целом по республике за теплый период наблюдается около 4 дней с разрушительными шквалами, от которых страдают отдельные хозяйства 5-10 административных районов.

В последние годы XX века с увеличением фронтальной грозовой деятельности несколько возросло и число разрушительных шквалов. В табл. 11.2 приведено число дней, когда разрушительные шквалы были отмечены где-либо на территории республики. Так как шквалы в один и тот же день часто наблюдаются в различных районах Беларуси, приведено и число случаев (районов) с разрушительными шквалами.

Таблица 11.2

**Число дней (1) и число случаев (2) с разрушительными шквалами
в сумме за пятилетия в целом по республике**

Годы	1966-70	1971-75	1976-80	1981-85	1986-90	1991-95	1996-2000
1	52	20	9	12	6	12	32
2	89	25	15	24	8	22	65

В 1996 г. отмечалось 13 дней и 27 случаев за лето с разрушительными шквалами; от них пострадали хозяйства в 27 районах республики. В 1998 г. пострадали хозяйства в 15 районах; в 2000 г. – в 12. Однако, как видно из таблицы, максимальное число разрушительных шквалов в XX в. приходилось на конец 60-х. На эти же годы приходится и наибольшая повторяемость сильного града.

11.7. Засушливые явления

Засушливым считается период, когда при повышенном температурном режиме в течение 30 и более дней осадки не превышают 5 мм в сутки. Неравномерность выпадения осадков в Беларуси приводит к возникновению засушливых явлений, которые значительно снижают урожай сельскохозяйственных культур. До 1990 г. засушливые периоды наблюдались в 4 годах из 10 и в большинстве лет охватывали до четверти территории республики. Увеличившаяся в конце XX в. неравномерность выпадения осадков и повышение температурного режима привели к увеличению повторяемости засушливых явлений; они регистрируются чаще, чем раз в 2 года (в 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 1999, 2001 и 2002 гг.). Причем в первых двух годах и в 2002 г. засушливые явления отмечены во всех областях республики.

С высоким температурным режимом и продолжительным отсутствием осадков связана и повышенная повторяемость чрезвычайной пожароопасности в республике, о чем свидетельствуют следующие данные: в 1971 – 1980 гг. было 3 года с чрезвычайной пожароопасностью; в 1981 – 1990 гг. – 2 года; в 1999 – 2000 гг. – 6 мес.

Таким образом, на территории республики в XX в. произошли существенные изменения основных климатических параметров, которые необходимо учитывать при обслуживании потребителей климатической информации. С использованием новейшей метеорологической информации строятся графики для области или района в зоне действия той или иной метеостанции.

12. СОВРЕМЕННЫЙ КЛИМАТ БЕЛАРУСИ

Вся территория Республики Беларусь расположена в умеренном поясе на пути движения западных воздушных масс из Атлантики. Климат Беларуси – умеренно-континентальный. Он формируется вследствие взаимодействия солнечной радиации, подстилающей земной поверхности и общей циркуляции атмосферы. Уровень солнечной радиации определяется положением Беларуси между $56^{\circ}10'$ и $51^{\circ}16'$ северной широты, зависит от высоты солнца над горизонтом в разные сезоны года, а также от продолжительности дня и облачности. Идущие с запада на восток воздушные массы приносят летом пасмурную и дождливую погоду, тем самым смягчая температурные колебания, а зимой сопровождаются значительными потеплениями с частыми оттепелями, особенно в западных районах республики.

На климат Беларуси оказывают влияние и внутриматериковые воздушные массы; не исключена возможность вторжения холодных арктических масс. При этом перемещение воздушных масс не является равномерным, и поэтому периодичность климатических условий, безусловно, очень часто нарушается. В отдельные годы, когда ослабевает влияние Атлантического океана, усиливается действие внутриматериковых воздушных масс, способствующих росту континентального климата: зима становится суровее, лето жарче, количество осадков резко убывает.

Температурный режим Беларуси характеризуется постепенным понижением температуры воздуха с юго-запада на северо-восток (рис. 12.1).

Климат Беларуси в западных областях значительно теплее и мягче, чем в восточных. Так, среднегодовая температура воздуха в Брестской области достигает $7,3^{\circ}$, а в Витебской области, расположенной на северо-востоке республики, – только $4,7^{\circ}$. Изотермы летом имеют широтное направление, зимой под влиянием воздушных течений с запада принимают направление с северо-запада на юго-восток.

Самым холодным месяцем года является январь. Средняя месячная температура его колеблется по территории от $-4,3^{\circ}$ на западе до $-8,2^{\circ}$ на востоке. Средняя месячная температура самого жаркого месяца – июля – составляет $17,0 - 19,0^{\circ}\text{C}$.

Наиболее низкая температура (-42°) в Беларуси наблюдалась на северо-востоке республики в 1940 г., самая высокая (37°) – в Гомельской области в 1901 г.

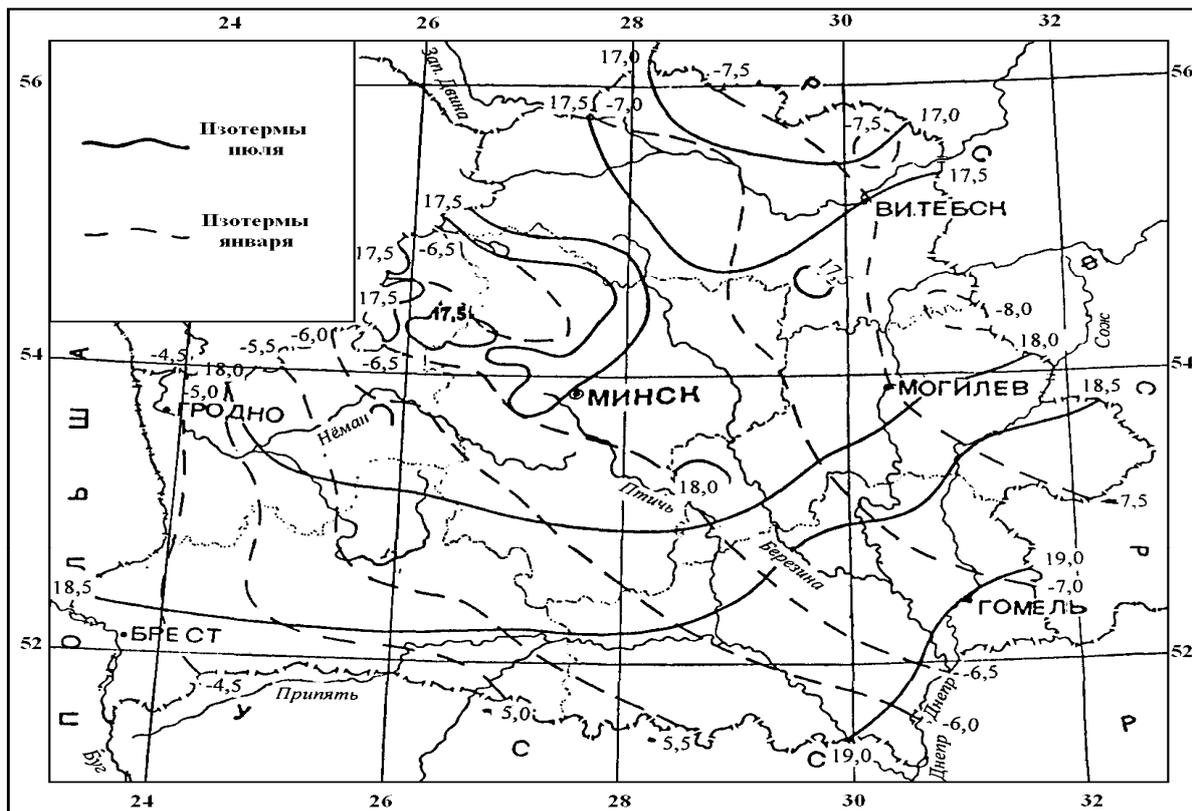


Рис. 12.1. Температурный режим в Республике Беларусь

Зима, определяемая переходом температуры через -5° и образованием устойчивого снежного покрова, в среднем наступает в середине или в конце декабря и продолжается от двух до трех с половиной месяцев. Зимой особенно ярко выражается влияние Атлантического океана. В течение всей зимы наблюдаются частые и длительные оттепели, значительная облачность и сырые северо-западные ветры. В декабре и феврале на каждые три дня приходится один день с оттепелью. Для восточной части республики, чаще подвергающейся действию материкового воздуха, характерен более суровый зимний режим.

Весенние и осенние периоды определяются переходом температуры воздуха через 0°C . Весна начинается на западе Беларуси примерно в конце первой декады марта, а к его концу охватывает почти всю территорию. Весна длится от пяти недель до двух месяцев. Осень несколько продолжительнее: она начинается примерно в середине сентября и кончается во второй декаде ноября. Для обоих этих периодов очень характерны заморозки. Особенно опасны и вредны для сельского хозяйства весенние заморозки.

Между концом осени и началом зимы наблюдается период предзимья, характеризующийся неустойчивой погодой с кратковременным образованием снежного покрова. Он длится около месяца, увеличиваясь с востока на запад. В отдельные годы на западе этот период может быть очень длительным: фактически вся зима превращается в предзимье.

Лето, определяемое переходом температуры воздуха через 10°C , длится около пяти месяцев. Оно начинается на юге – в конце апреля, а на севере – в начале мая и кончается в третьей декаде сентября.

Можно выделить наиболее жаркую часть летнего периода, определяемую переходом температуры через 15°C , которая длится с первой декады июня до последней декады августа – примерно два-три месяца. Этот период определяет возможность созревания некоторых теплолюбивых культур.

По количеству осадков Республика Беларусь принадлежит к наиболее увлажненным районам. Среднегодовое количество атмосферных осадков колеблется по территории от 550 до 700 мм (рис. 12.2).

В отдельные годы наблюдаются значительные отклонения от средних многолетних величин. Распределение осадков по временам года – неравномерное. Наибольшее количество

осадков выпадает летом (июль), наименьшее – зимой (февраль). В теплое время года осадки выпадают преимущественно в виде ливней.

В засушливые годы суммы осадков не достигают и 350 мм. Такие годы повторяются гораздо реже влажных, их вредное воздействие сказывается, в основном, в районах с песчаными почвами юго-восточной части республики.

Снежный покров распределяется по территории республики неравномерно. Достигая наибольшей высоты (30 см) на северо-востоке, он сильно уменьшается по своей мощности на юго-западе, а в отдельные годы оттепели приводят к полному стаяванию снега.

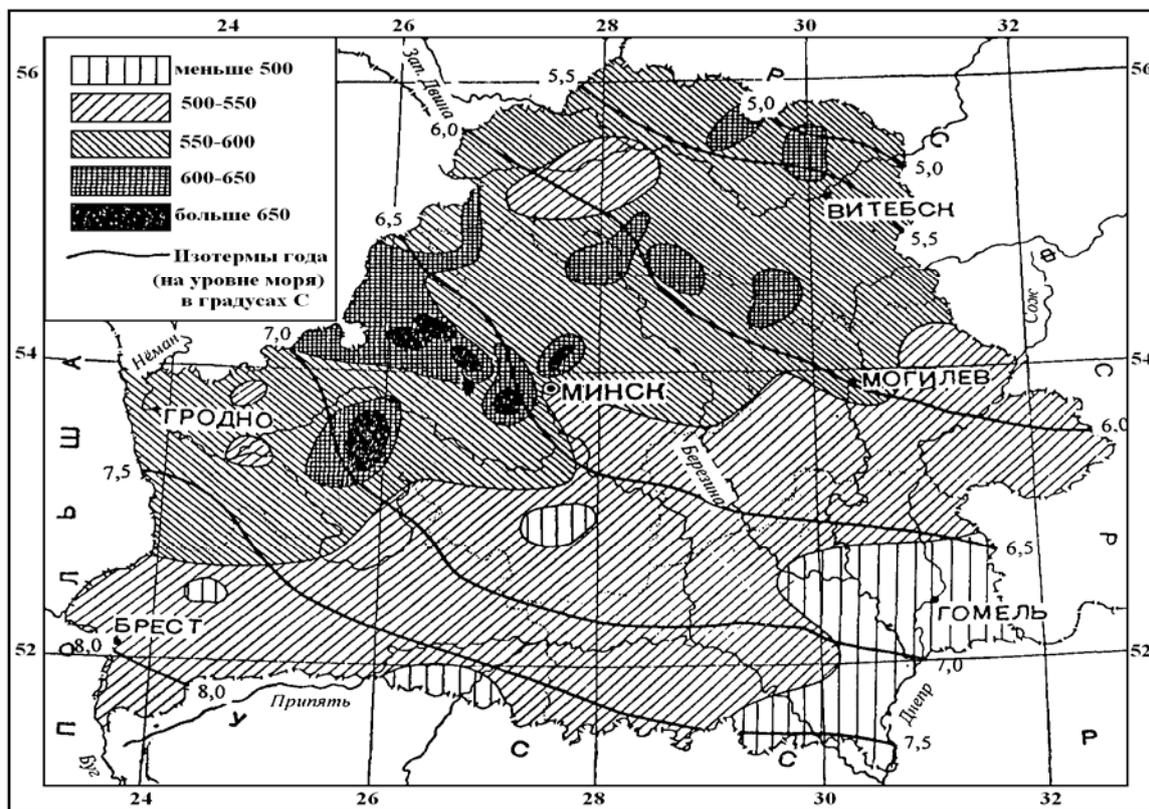


Рис. 12.2. Осадки и среднегодовые температуры воздуха

Промерзание почвы невелико: в среднем в поле оно достигает 50-65 см, в лесу – 15-20 см. Только в отдельные и малоснежные зимы оно может достигать 1 м, но это бывает не чаще одного раза в десятилетие.

Территория Беларуси расположена на севере от полосы высокого давления – оси Воейкова. Зимой здесь чаще дуют юго-западные и западные ветры, летом – северо-западные и западные. Западные воздушные потоки, преобладающие на протяжении года, приносят с собой атлантический воздух умеренных широт. Зимой с перемещением по территории Беларуси морского воздуха умеренных широт повышается температура воздуха, увеличивается относительная влажность и облачность, возникают туманы, выпадают атмосферные осадки. Приток воздуха с Атлантического океана чередуется с его поступлением с юга и юго-запада, но южные циклоны более редки, чем западные. Арктический воздух проникает чаще всего с циклонами, движущимися на восток и юго-восток, в результате наступает резкое похолодание, с порывистым ветром и переменной облачностью, особенно летом, когда распределение температуры воздуха зависит преимущественно от величины солнечной радиации. Атлантические воздушные массы несколько понижают температуру континентальных масс, но более энергично, чем зимой, трансформируются (прогреваются, увлажняются за счет испарения с поверхности почвы и транспирации). Влияние холодной арктической воздушной массы на климат Беларуси уменьшается с мая по июнь и увеличивается к сентябрю. Тропический воздух распространяется, главным образом, на юго-востоке и обуславливает резкое повышение температуры и сильные оттепели зимой, высокие температуры (до 38°) и сухость летом. Во время

движения на север воздух умеренных широт трансформируется в континентальный, несколько увеличивает свою влажность и понижает температуру.

Вследствие чередования циклонов и антициклонов погода в Беларуси неустойчивая, особенно зимой и осенью.

Тепловой режим Республики Беларусь характеризуется постепенным понижением температуры воздуха с юго-запада на северо-восток. Средние годовые изотермы вытянуты с северо-запада на юго-восток и изменяются от 7,4 °С в Брестской области до 4,4 °С и ниже – в Витебской области.

Продолжительность теплого периода года (с температурой выше 0 °С) на юго-западе Беларуси – 250-260, на северо-востоке – 220-230 суток. Относительно большое количество осадков, сравнительно небольшие (невысокие) температуры теплого периода года обуславливают повышенную влажность воздуха. Среднегодовая относительная влажность воздуха в 13.00 – почти 70 %. Зимой и частично – осенью относительная влажность составляет 80-88 %, весной – до 51-62 %, летом – 50-60 % (при засушливой погоде – менее 30 %). В год бывает от 35 до 100 дней с туманами. Вероятность пасмурного неба зимой – 73-85 %, облачности в теплый период года – до 40-55 %. Осадков в год выпадает 600...650 мм в центральной и северо-восточной части Белоруссии, 650 (кое-где – 700 мм) – на возвышенностях, 600 мм и менее – в Белорусском Полесье и на севере республики. В отдельные годы, особенно на юге и юго-востоке, все лето засушливое (дождей не бывает по 20 суток и более).

Республика Беларусь обладает весьма густой сетью рек и озер, что обусловлено, прежде всего, обилием выпадающих на ее территории атмосферных осадков. Питание рек, в основном, происходит за счет стока атмосферных осадков. Из-за равнинного рельефа течение воды в реках медленное и нарушается лишь порогами и перекатами при пересечении моренных гряд. Велика извилистость рек, которая удлиняет водный путь примерно в 1,5 раза.

Для Беларуси характерны значительные половодья, вызванные быстрым снеготаянием и в связи с этим – значительным увеличением количества воды в реках. Ввиду затруднительного поверхностного стока особенно сильное и продолжительное половодье бывает в Полесье. Весенний сток составляет примерно 50-60 % годового стока.

Территорию Беларуси принято разделять на пояса, зоны, области, районы и т.д. исходя из особенностей климата и в целях определенной хозяйственной деятельности

В основу агроклиматического районирования положена теплообеспеченность вегетационного периода и продолжительность залегания устойчивого снежного покрова. Суммы осадков за вегетационный период распределяются по территории республики довольно равномерно (340-440 мм). По термическим условиям, т.е. по суммам температур, превышающих 10 °С, всю территорию Беларуси можно разделить на 3 области, располагающихся в широтном направлении:

- 1) прохладная зона с годовой суммой температур менее 2000 °С;
- 2) умеренная теплая зона с годовой суммой температур от 2000 до 2200 °С;
- 3) теплая зона с годовой суммой температур, превышающей 2200 °С.

Эти области подразделяются на 6 подобластей и 19 агроклиматических районов (рис. 12.3).

Продолжительность устойчивого снежного покрова колеблется от 75 дней на юго-западе Беларуси до 130 на северо-востоке. Имеется значительная разница в количестве снежных отложений и объемах снегопереноса. По условиям снегоборьбы территория Республики Беларусь разделяется на четыре района (рис. 12.4).

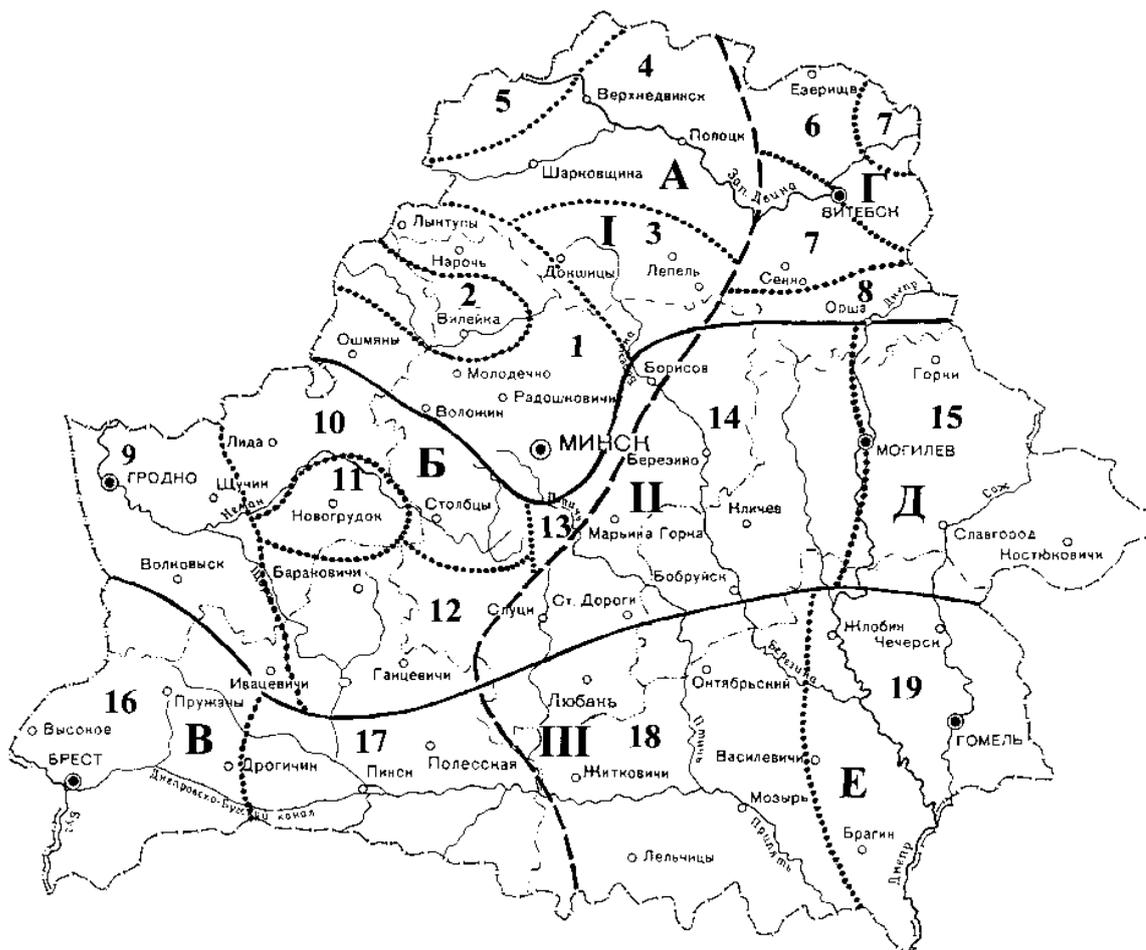


Рис. 12.3. Районирование Беларуси:

области: I – Северная умеренно-теплая влажная; II – Центральная теплая умеренно-влажная; III – Южная теплая неустойчиво-влажная; подобласти: А, Б, В – западные; Г, Д, Е – восточные районы: 1 – Ошмянско-Минско-Свентенский; 2 – Нарочано-Вилейский; 3 – Ушацко-Лепельский; 4 – Полоцкий; 5 – Освейско-Браславский; 6 – Городецко-Витебский; 7 – Суражско-Лучевский; 8 – Оршанский; 9 – Городецко-Ивацевичский; 10 – Лидско-Ивенецкий; 11 – Новогрудский; 12 – Барановичско-Ганцевичский; 13 – Борисовско-Руденский; 14 – Березенский; 15 – Горецко-Костюковичский; 16 – Пружанско-Брестский; 17 – Пинский; 18 – Житковичско-Мозырский; 19 – Гомельский

Границы агроклиматических поясов:

- — областей
- - - - - — подобластей
- — районов



Рис. 12.4. Районирование территории Республики Беларусь по условиям снегоборьбы на автомобильных дорогах:
 I – IV – районы по условиям снегоборьбы на автомобильных дорогах;
 М-1, Р-20 – республиканские автомобильные дороги
 --- – границы районов

К I району по снеготранспортируемости относится северо-восточная часть территории Беларуси (высота снежного покрова – 0,6 м); ко II – центральная (0,5 м); к III – южная и западная (0,4); к IV – юго-западная (0,3 м).

Число случаев возникновения гололедицы за зимний период колеблется в различных районах Беларуси в значительных пределах (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Среднее число случаев возникновения гололедицы

Район	Территория Беларуси	Среднее число случаев зимней скользкости по причинам		Всего
		гололеда	снегопада и метелей	
I	юго-западная	15	30	46
II	южная и западная	20	35	55
III	центральная	25	40	65
IV	восточная и северная	20	40	60

Районирование территории по условиям борьбы с гололедицей представлено на рис. 12.5.

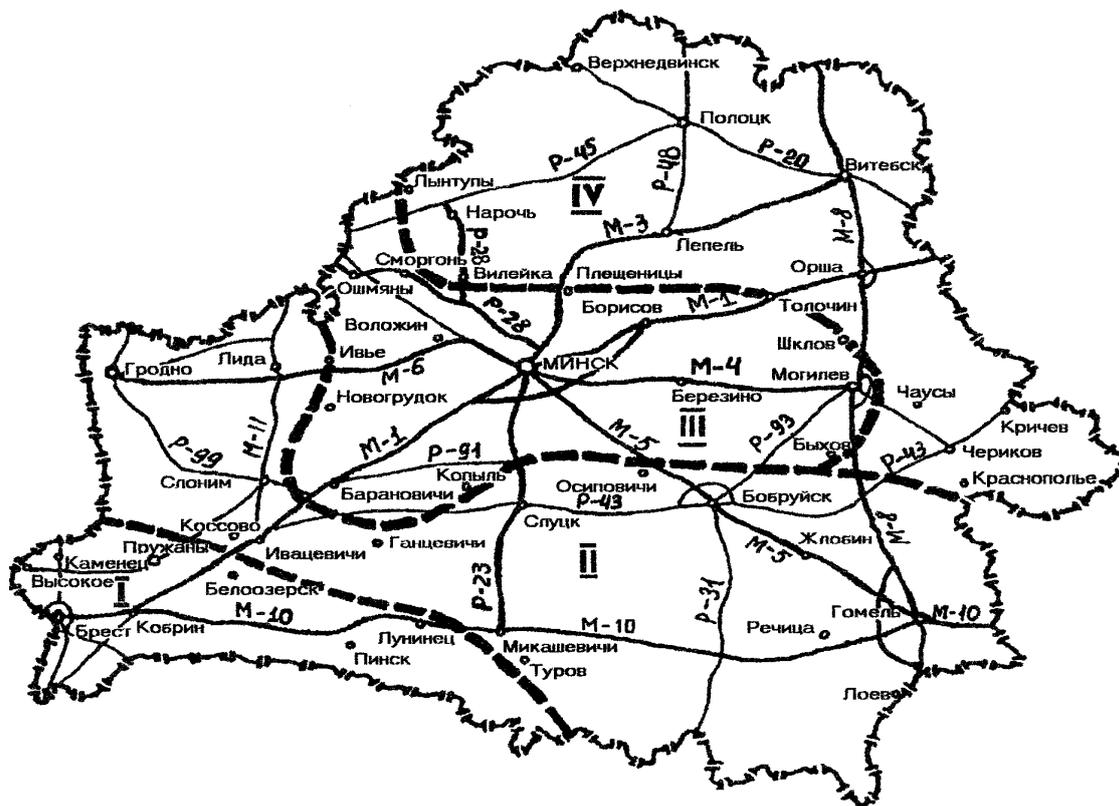


Рис. 12.5. Районирование территории Республики Беларусь по условиям борьбы с гололедницей на автомобильных дорогах:

I-IV – районы по условиям борьбы с гололедницей на автомобильных дорогах;

M-1, P-20 – республиканские автомобильные дороги;

--- – границы районов

Более подробные метеорологические характеристики для каждого из перечисленных районов приведены в приложениях в табличной форме и в виде климатических карт; кроме того, приведены основные метеорологические характеристики для использования при решении строительных и дорожно-транспортных задач.

13. СИСТЕМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

13.1. Организация метеорологических наблюдений

В соответствии с принятой Всемирной службой погоды (рис. 13.1) единой системой метеорологические наблюдения на земном шаре осуществляются в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч поясного времени по Гринвичу. Метеорологические наблюдения осуществляются на любом поясном времени, которое должно отличаться от Гринвича на величину, кратную трем. Под *временем наблюдения* подразумевается интервал времени продолжительностью 10 мин, который заканчивается точно в принятое расчетное время. Актинометрические и теплобалансовые наблюдения проводятся по среднему солнечному времени: актинометрические – в 0 ч 30 мин, 6.30, 9.30, 12.30, 18.30, теплобалансовые – в 1, 7, 10, 13, 16, 19 ч.

Основой для установления астрономического времени является видимое движение на небосводе солнечного диска, который дважды за сутки пересекает меридиан данного места и соответственно достигает *верхней* и *нижней кульминации*. Момент, когда солнце достигает максимальной высоты, или верхней кульминации, называется *действительным полуднем*.

Момент нижней кульминации принимается за начало *гражданских суток*. От него в метеорологии отсчитывается действительное солнечное время (I_0). Промежуток времени между моментами двух последовательных одинаковых кульминаций Солнца называется *действительными солнечными сутками*.

В результате неравномерного движения Земли вокруг Солнца и изменения наклона эклиптики к экватору продолжительность действительных солнечных суток на протяжении года не одинакова. Поэтому введено понятие **средних солнечных суток**, продолжительность которых считается постоянной. Для определения средних солнечных суток используется понятие **среднее солнце**. Средние солнечные сутки соответствуют интервалу времени между двумя последовательными кульминациями среднего солнца. Такая система исчисления называется **средним, или местным временем** (\tilde{t}_m).

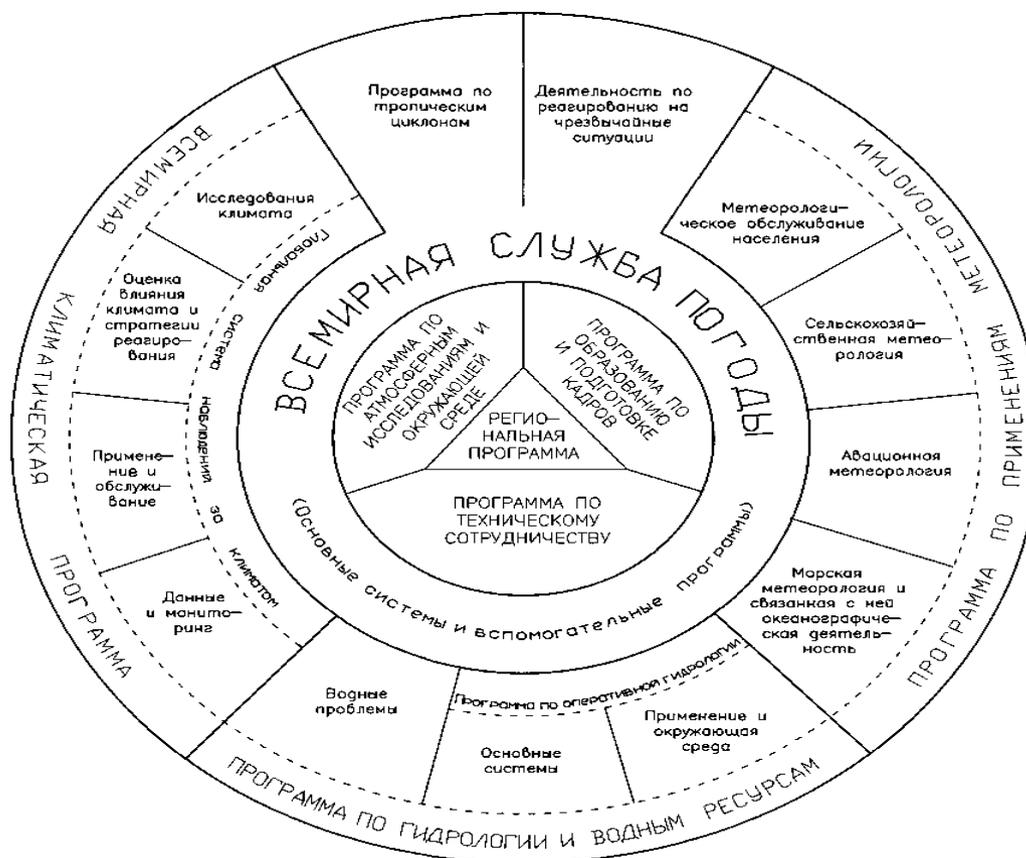


Рис. 13.1. Функции и направления деятельности Всемирной службы погоды

Началом отсчета среднего солнечного времени и момента смены дат служит момент нижней кульминации солнца. Разница между средним и действительным солнечным временем называется **уравнением времени**:

$$\Delta \tilde{t} = \tilde{t}_m - \tilde{t}_0.$$

Среднее и действительное солнечное время можно определить на основании данных табл. 13.1.

Таблица 13.1

Разница между средним и действительным солнечным временем

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	3	13	12	4	-3	-2	4	6	0	-10	-16	-11
2	4	14	12	4	-3	-2	4	6	0	-11	-16	-11
3	4	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
4	4	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
5	5	14	12	3	-3	-2	4	6	-1	-11	-16	-10
6	5	14	11	3	-3	-1	5	6	-2	-12	-16	-9

7	6	14	11	2	-3	-1	5	6	-2	-12	-16	-9
8	6	14	11	2	-4	-1	5	6	-2	-12	-16	-8
9	7	14	11	2	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-8
10	7	14	11	1	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-7
11	7	14	11	1	-4	-1	5	5	-3	-13	-16	-7
12	8	14	11	1	-4	0	5	5	-4	-13	-16	-6
13	8	14	11	1	-4	0	6	5	-4	-13	-16	-6
14	9	14	9	0	-4	0	6	5	-4	-14	-16	-5
15	9	14	9	0	-4	0	6	4	-5	-14	-15	-5
16	9	14	9	0	-4	0	6	4	-5	-14	-15	-5
17	9	14	9	1	-4	0	6	4	-5	-15	-15	-5
18	10	14	8	-1	-4	1	6	4	-6	-15	-15	-4
19	10	14	8	-1	-4	1	6	4	-6	-15	-15	-3
20	10	14	8	-1	-4	1	6	3	-6	-15	-14	-3
21	11	14	7	-1	-4	2	6	3	-7	-15	-14	-2
22	11	14	7	-1	-3	2	6	3	-7	-15	-14	-2
23	11	14	7	-2	-3	2	6	3	-8	-16	14	-1
24	12	13	6	-2	-3	2	6	2	-8	-16	-13	-1
25	12	13	6	-2	-3	2	6	2	-8	-16	-13	0
26	12	13	6	-2	-3	3	6	2	-9	-16	-13	0
27	13	13	6	-2	-3	3	6	2	-9	-16	-12	1
28	13	13	5	-2	-3	3	6	1	-9	-16	-12	1
29	13	13	5	-3	-3	3	6	1	-10	-16	-12	2
30	13	-	5	-3	-3	3	6	1	-10	-16	-11	2
31	13	-	4	-	-2	-	6	0	-	-16	-	3

13.2. Метеорологические станции и посты

Для проведения систематических наблюдений за состоянием погоды создаются метеорологические станции и посты. *Метеостанции* (рис. 13.2) – это учреждения, на которых ведутся регулярные метеорологические наблюдения за состоянием атмосферы и атмосферных процессов.

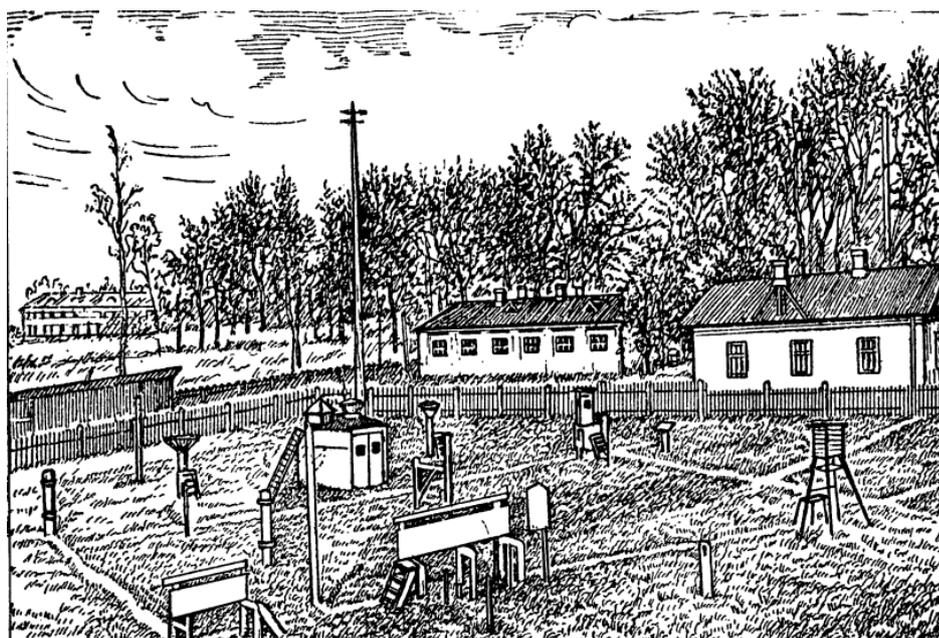


Рис. 13.2. Метеорологическая станция

Метеостанции состоят из метеорологических площадок, где в соответствии с общепринятой системой размещаются метеорологические приборы, а также помещений, где установлены автоматические приспособления для регистрации показаний приборов и ведется первичная обработка данных наблюдений. В зависимости от видов и объема наблюдений метеорологические станции разделяются на 3 разряда (рис. 13.3).

К станциям 1-го разряда относятся те, которые проводят наблюдения за погодой и обрабатывают эти данные, осуществляют техническое руководство станциями 2-го и 3-го разрядов, а также представляют заинтересованным организациям и предприятиям сведения о погоде. Метеорологические станции 2-го разряда проводят наблюдения, передают данные о результатах наблюдений; станции 3-го разряда выполняют наблюдения по сокращенной программе. Работа станций всех разрядов скоординирована и взаимосвязана. На некоторых станциях дополнительно проводятся аэрологические, актинометрические и градиентные наблюдения. В Республике Беларусь в настоящее время имеется 51 станция, в т.ч.: 1-го разряда – 5; 2-го разряда – 41; 3-го разряда – 2, 4-го разряда – 2.

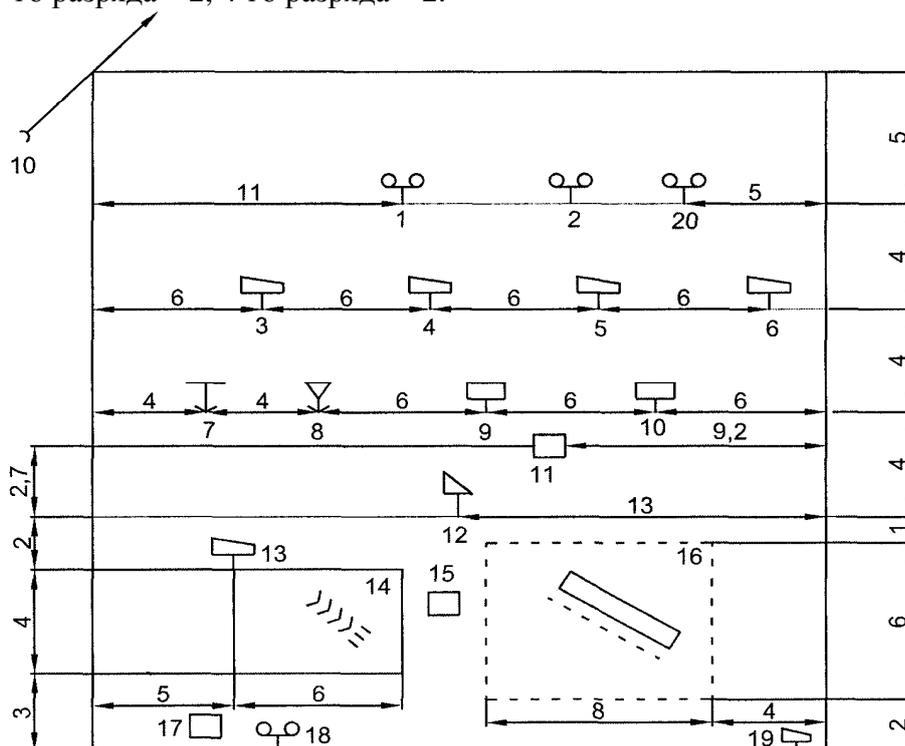


Рис. 13.3. Схема метеорологической площадки:

1 – датчик М-63; 2 – датчик М-63М; 3 – психрометрическая будка; 4 – датчик влажности; 5 – датчик срочной температуры; 6 – будка самописцев; 7 – горизонтальный планшет; 8 – осадкомер; 9 – пьювиограф; 10 – датчик жидких осадков; 11 – коробка КС-1; 12 – измеритель видимости; 13 – стойка для АМ-17; 14 – оголенный участок; 15 – коробка КС-2; 16 – участок с естественным покровом; 17 – стойка с актинометром; 18 – стойка с пиргелиометром; 19 – психрометрическая будка; 20 – гололедный станок

Среди метеорологических станций по количеству: центров по гидрометеорологии – 8, метеорологических станций – 30, станций фонового мониторинга – 1, гидрологических станций – 2, агрометеорологических – 6, авиаметеорологических – 3, болотных – 2, озерных – 1 и т.д.

Метеорологические посты создаются для наблюдения за определенными метеорологическими характеристиками.

Управление деятельностью метеорологических станций и постов осуществляет Республиканский гидрометеорологический центр. Его структура представлена на рис. 13.4.

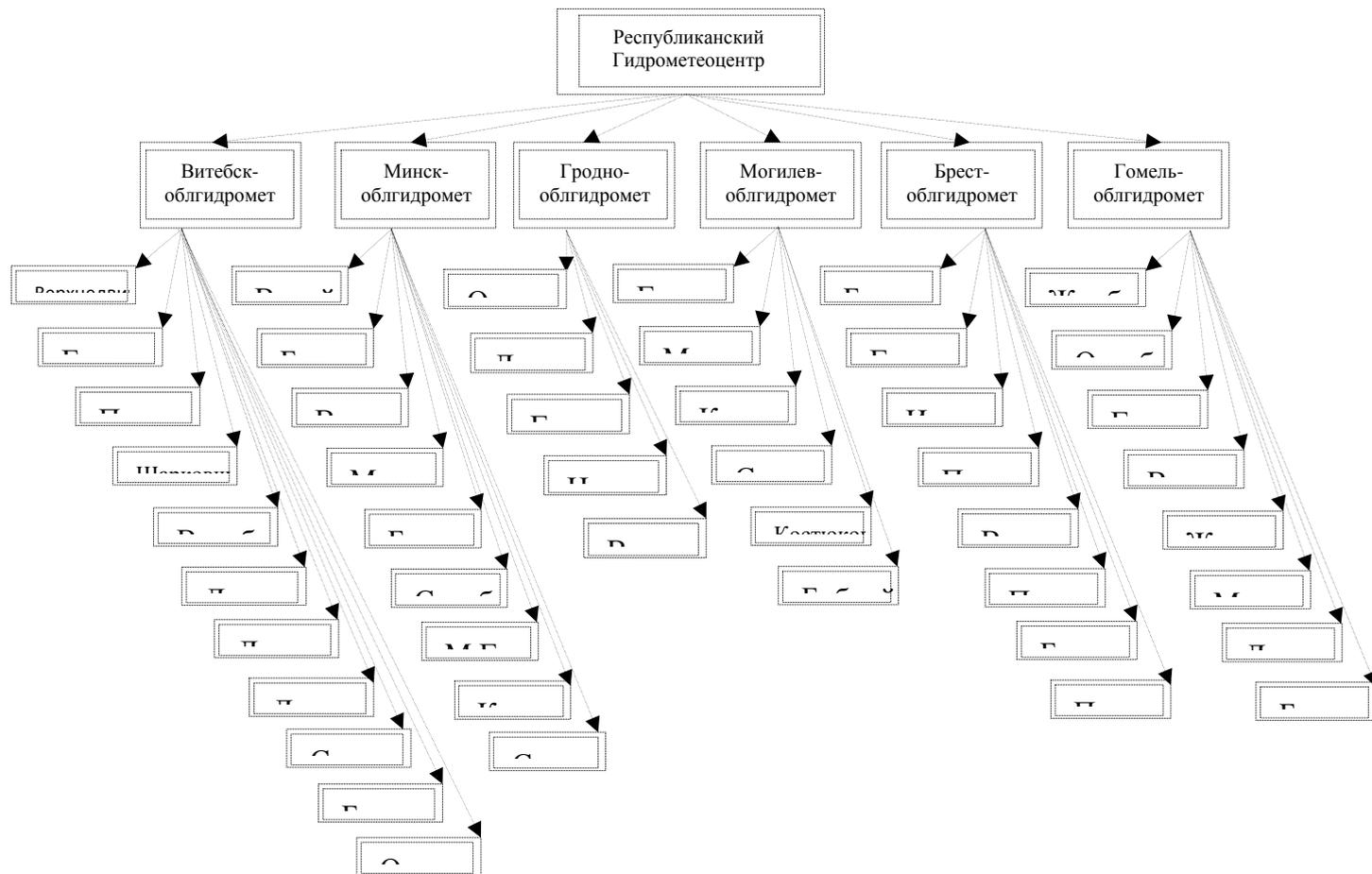


Рис. 13.4. Структура Белорусского республиканского гидрометеорологического центра

13.3. Предупреждение о возникновении гололеда на дороге

Система предупреждения о гололеде базируется на метеорологических данных. Метеорологическое обслуживание включает ряд приспособлений и устройств, целью которых является поставка дорожным службам и пользователям дорог информации о существующих и прогнозируемых атмосферных условиях на дорогах. Метеорологическая система анализирует данные и оценивает степень опасности возникновения гололеда. Эта система основывается на:

- 1) метеорологической информации и кратко- и долгосрочных прогнозах, полученных от метеостанций;
- 2) информации о погоде от сети дорожных станций предупреждения о гололеде, работающих в системе предупреждения о гололеде.

Основными элементами системы предупреждения о гололеде являются дорожные станции предупреждения о гололеде и дорожные измерительные станции, измеряющие параметры дорожного покрытия и атмосферные условия в определенных точках дороги.

Системы предупреждения о гололеде основаны на электронной измерительной технике, поскольку она позволяет осуществлять длительные автоматические измерения, регистрацию, передачу данных измерения на расстояние, а также анализировать и обрабатывать эти данные. Система содержит произвольное количество дорожных и центральных станций; их сеть может быть расширена по мере возможности и необходимости. Схема системы предупреждения о гололеде представлена на рис. 13.5.

Дорожные станции предупреждения о гололеде (ДСПГ) измеряют параметры дорожного покрытия и атмосферные условия в определенных точках дорожной сети. Различные станции связаны между собой посредством телефонных линий или других средств связи с компьютерами центральных станций, контролирующими их работу.

Центральная станция, размещенная в офисе дорожной службы, собирает данные измерений дорожных станций и на их основе выполняет оценку погодных условий на дороге и оценивает степень опасности возникновения гололеда. Программное обеспечение станции позволяет также сформировать краткосрочный прогноз возможности образования гололеда. Существует возможность подключения к Центральной станции произвольного количества дополнительных центральных станций в офисах служб, заинтересованных в прогнозе погодной ситуации на дорогах.

Системы предупреждения о гололеде, поставляя точные данные о местных атмосферных условиях, позволяют заранее прогнозировать наступление гололеда, что дает ощутимую выгоду с точки зрения уменьшения количества применяемых химических средств (а значит, уменьшения стоимости зимнего содержания дорог и экологических потерь), а также повышения безопасности дорожного движения. Электронная измерительная техника, применяемая в системе, обеспечивает автоматические и непрерывные измерения, регистрирует и передает данные на расстояние, позволяет анализировать и обрабатывать измеренные данные.

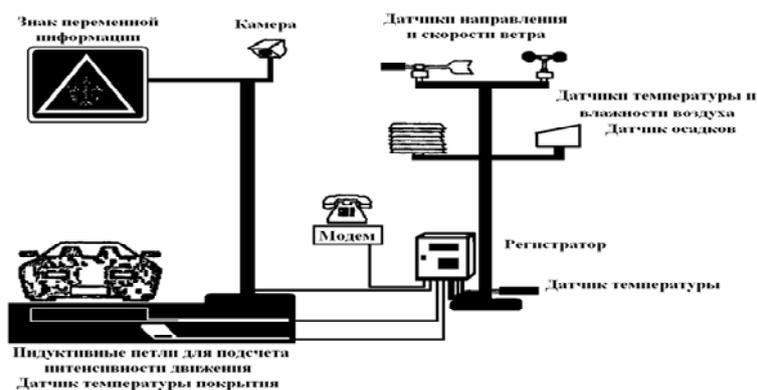


Рис. 13.5. Схема дорожной станции предупреждения о гололеде

В Польше, например, система предупреждения о гололеде объединяет свыше 150 ДСПГ и 60 центральных станций. Дорожные станции размещены, главным образом, в центральном, юго-западном и западном регионах, а также в наиболее крупных городах (Варшаве, Познани, Кракове, Лодзи, Вроцлаве).

Целью работы дорожных станций предупреждения о гололеде являются измерение и регистрация метеорологических параметров и параметров поверхности дороги на участках, характеризующихся локальным микроклиматом, повышенной опасностью, сбор информации о возникновении гололеда и передача текущих данных на центральную станцию. Станции должны размещаться непосредственно у дороги на опасных участках.

Дорожная станция предупреждения о гололеде оборудуется набором измерительных датчиков (рис. 13.6), присоединенных к многофункциональному регистратору.

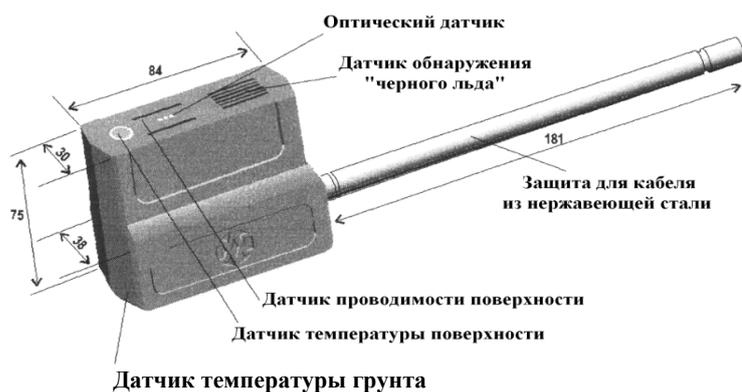


Рис. 13.6. Датчик температурных характеристик

Назначением таких датчиков является измерение и регистрация полученных данных, а также автоматическая передача информации на центральную станцию различными средствами связи (такими как телефон, радио или сотовый телефон).

Схема дорожной станции предупреждения о гололеде представлена на рис. 13.7.



Рис. 13.7. Дорожная станция предупреждения о гололеде

Дорожная станция предупреждения о гололеде в стандартной версии должна быть оборудована следующими приборами:

- 1) регистратором RC 10;
- 2) телефонным модемом;
- 3) объединенным дорожным датчиком, измеряющим температуру покрытия на уровне 0 – 5 см;

- 4) объединенным термогидродатчиком, измеряющим температуру и влажность воздуха на высоте 4 или 2 м;
- 5) датчиком температуры воздуха у поверхности грунта (на высоте 20 см);
- 6) датчиком скорости ветра;
- 7) датчиком направления ветра;
- 8) детектором состояния атмосферных осадков.

Дорожные измерительные станции (ДИС) (рис. 13.8) являются расширенной версией станций предупреждения о гололеде. Они оборудованы дополнительными измерительными системами и приспособлениями для сбора информации об изменениях погодных условий.

К станции подведены электрическая линия 220 В, 50 Гц и абонентская линия телефонной связи (или другое средство связи). Регистратор RC-12, модем, противосолнечные жалюзи измерительных датчиков, сетевые и телефонные устройства размещаются в плотной закрывающейся конструкции, прикрепленной к несущей мачте станции. К мачте крепятся также датчики атмосферных параметров. Термогидродатчик должен быть размещен в продуваемом боксе, защищенном от солнца и дождя.

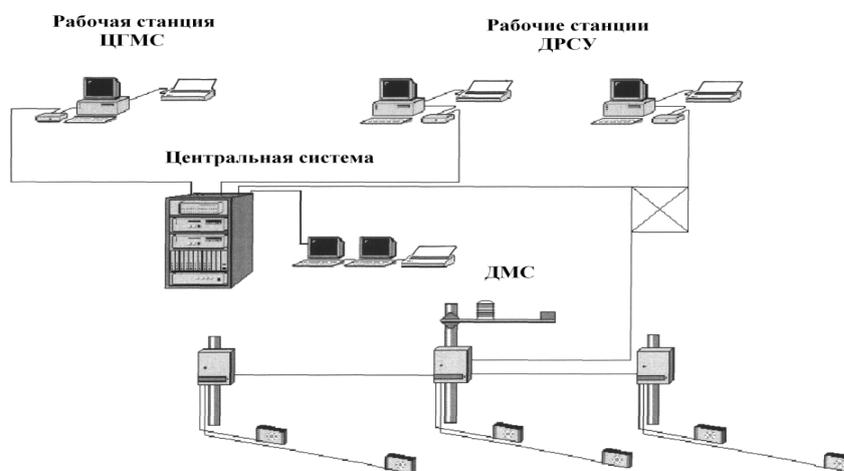


Рис. 13.8. Схема дорожной измерительной станции

На измерительных станциях существует возможность подключения к регистратору дополнительных измерительных датчиков, – например, давления, видимости, теплового баланса, а также возможность электропитания станции от солнечной батареи.

ДИС могут быть оборудованы следующими приборами и системами:

- 1) информационной табличкой переменного содержания;
- 2) камерой для наблюдения за дорогой;
- 3) системой измерения интенсивности и состава дорожного движения;
- 4) системой мониторинга загрязнения окружающей среды.

Дополнительные системы и приспособления могут быть укреплены на мачте центральной станции и управляться с дорожной станции или удалены от нее и связаны с ней кабелем или радиоканалом. Такая сеть связи создает систему предупреждения о гололеде, работа которой заключается в измерении текущих погодных условий, оценке текущей опасности образования гололеда, прогнозе возможности его наступления, оказании помощи в принятии решений службам зимнего содержания, информировании пользователей дорог о текущих температурных условиях и возможных опасностях на дороге.

13.4. Метеорологическая дорожная станция Vaisala Rosa

13.4.1. Общие сведения о станции

Метеорологическая дорожная станция Vaisala Rosa представляет собой комплексную систему для получения информации о состоянии покрытия на дорогах в зависимости от погодных условий. Она позволяет собирать в реальном времени данные о состоянии покрытия дорог,

видимости, виде осадков и других метеорологических параметрах, так как служит инструментом для обеспечения дорожной безопасности и планирования мероприятий по обслуживанию и содержанию дорог.

Метеорологическая дорожная станция измеряет основные показатели состояния покрытия дорог в зависимости от погодных условий; сообщает о наличии гололеда (включая монокристаллический «черный лед»); измеряет температуру покрытия дороги, земли, воздуха, влажность, уровень конденсата, тип осадков; отображает уровень воды.

Станция включает ряд датчиков: датчик DRS511 – основу стандартной конфигурации Rosa, а также другие датчики, фиксирующие тип осадков, измеряющие температуру воздуха и влажность. Могут быть установлены дополнительные датчики для измерения видимости, давления воздуха, дополнительных параметров температуры, глубины снега, скорости и направления ветра.

В коммуникационные опции включены модемный набор номера, разделенные линии, GSM и радиомодемы. Поскольку станция Rosa характеризуется низким потреблением электричества, она может питаться от сети либо посредством солнечной энергии. Дополнительно можно использовать запасные батареи.

Станция Rosa позволяет измерять показатели дорожного покрытия и получать метеорологические данные о характеристиках состояния покрытия (сухости, влажности, скользкости). Последние усовершенствования этой станции позволяют производить точные измерения слоя воды на покрытии, а также измерять химическую концентрацию антиобледенителей, с помощью которой можно определить понижение точки замерзания покрытия дороги (что является ключевым моментом для начала проведения превентивного технического обслуживания дороги).

Станция может работать при наличии одного датчика контроля за состоянием покрытия дорожной системы (Vaisala DRS511), однако при необходимости к ней можно подключать до 8 аналогичных датчиков.

Основным принципом расширения технических возможностей метеорологической дорожной станции является модульный принцип. При наличии одной такой стандартной станции можно создать сеть станций, отвечающих требованиям технического обслуживания сети автомобильных дорог в зимний период, оснащая их впоследствии дополнительными датчиками.

Для охвата исследуемых проблематичных участков дорог может быть установлено до 16 удаленных друг от друга станций, которые будут связаны между собой и с центральной станцией посредством линии RS-485. Дополнительные датчики контроля за состоянием дорожного покрытия и датчики атмосферы можно добавлять к удаленным станциям, которые смогут измерять показания на расстоянии до 1,5 км от основной станции.

Для связи между удаленными подстанциями и основной станцией в целях сокращения затрат на кабель применяются радиомодемы.

Работа оптического датчика контроля за состоянием дорожного покрытия основана на принципе тепловой инертности. Датчик потребляет немного силы тока, поэтому тепло не достигает дорожного покрытия и не может нарушить точность измерений.

Датчик DRS511 точно измеряет электропроводность покрытия, электрохимическую поляризацию, емкостное сопротивление поверхности (применяется для обнаружения «черного льда»), температуру покрытия, земли, толщину водного слоя. Работая на принципе оптического отображения, он использует сигнал для сообщения о наличии воды, льда или снега на дороге, правильно измеряет толщину водных слоев, дает точный расчет концентрации химического состава для предотвращения гололеда. Измерения электропроводности покрытия и электрохимической поляризации применяются для расчета необходимого количества химического состава для предотвращения гололеда. Получив результаты измерений, компьютер автоматически подсчитывает концентрацию химического состава и определяет температуру замерзания. На основании совокупной информации принимается решение о необходимости принимать меры по предотвращению гололеда.

Станция Rosa своевременно выявляет и прогнозирует рискованные состояния покрытия дороги, что дает возможность дорожным службам предпринимать эффективные действия по

предотвращению гололеда; точно рассчитывает концентрацию специальных химических составов, используемых на дорогах для определения понижения точки замерзания.

К станции могут подключаться дорожные знаки переменной информации, предназначенные для отображения информации о погодных условиях на дороге в реальном времени, благодаря чему водители заранее получают информацию об опасных дорожных условиях. Конфигурация станции позволяет оснастить ее автоматическими спреями с солью и другими автоматическими дорожными устройствами.

Структурно и функционально метеорологическая дорожная станция может быть представлена как система, включающая основные компоненты, источники питания, виды связей, комплекс датчиков для определения состояния дороги и метеорологических характеристик (табл. 13.2).

Дорожная станция позволяет определять следующие показатели состояния дорожного покрытия:

- 1) состояние покрытия: сухо, влажно, влажно + химикаты; мокро; мокро + химикаты; иней; снег; лед;
- 2) замерзание, дождь, обледенение;
- 3) состав и количество химикатов по предотвращению обледенения (количество, г/м²; концентрация, г/л;
- 4) падение температуры замерзания, °С.
- 5) обнаружение «черного льда»;
- 6) температуру дорожного покрытия, °С;
- 7) температуру земли, °С.

Таблица 13.2

Основные характеристики дорожной станции Vaisala Rosa

Стандартные измерения	Дополнительные датчики
Дорожный датчик DRS511 температура поверхности дороги и грунта состояние дорожного покрытия «черный лед» толщина водного слоя Определение осадков (DRD11A или PWD11) Температура воздуха и влажность (HMP45D)	Датчики скорости и направления ветра: WAA151, WAV151, WAT12, WMS301, WAS425 Датчик видимости: FD12 Датчики текущей погоды, определяющие видимость и тип осадков: PWD11, FD12P Дополнительный датчик температуры грунта: DTS12G Датчик давления: PMB100 Датчик глубины снега: SR50 Датчик солнечной радиации: QMS101 Датчик силы дождя: RG13
Питание	Возможности связи
Сеть или переменный ток Солнечная батарея Аккумулятор, начиная от 2 А/ч	Аналоговый модем (DMX50ICE) Некоммутируемая связь (DMX55U) GSM Радиомодемы

13.4.2. Дорожный сенсор Vaisala DRS511/511B

Дорожный сенсор Vaisala DRS511/511B предназначен для определения: замерзания поверхности; наличия антиобледенителей; количества воды на покрытии; наличия снежного покрова; температуры поверхности покрытия.

Такой сенсор, соединенный с дорожной климатической станцией Vaisala Rosa, формирует часть удаленной системы обработки данных по предупреждению и прогнозу гололеда. DRS511 – мульти-сенсорный блок, использующий термически пассивные принципы (т.е. он не использует искусственной отопительной или охлаждающей энергии, что может привести к изменениям

измеряемых климатических показателей). Более низкая модель сенсора DRS511 В разработана специально для зимнего содержания мостов.

Особенность конструкции сенсора заключается в открытых электродах из углеродного волокна и в самой технологии оптического волокна. Electroды запрессованы в цельный сенсорный блок, имеющий эпоксидное покрытие, обладающее свойствами, сходными с дорожными, для лучшей теплопроводности и теплоизлучения.

Благодаря этому сенсор выдерживает большие нагрузки от транспорта, что позволяет устанавливать его в колею. Прибор обладает износостойкостью до 35 мм без необходимости дополнительной внешней регулировки.

Уникальные измерительные технологии Vaisala делают возможным точный анализ состояния дорожного покрытия, толщины лонного пробоотборника и удаляющих лед химикатов, выявление снежной и ледовой корки.

Измерения состояния поверхности производятся анализатором дорожной поверхности.

Система Rosa, оборудованная сенсором DRS511, определяет следующие состояния поверхности дорог:

- 1) сухое;
- 2) влажное;
- 3) мокрое;
- 4) влажное с химикатами;
- 5) мокрое с химикатами;
- 6) иней;
- 7) снег;
- 8) гололед.

Дорожный сенсор Vaisala DRS511 позволяет проводить следующие измерения:

- 1) оптическое исследование покрытия;
- 2) определение проводимости поверхности;
- 3) электрохимической поляризуемости;
- 4) емкостного сопротивления поверхности (наличия «черного льда»);
- 5) температуры поверхности;
- 6) температуры почвы (слоя до 6 см).

Сенсор DRS511 включает оборудование для оптического исследования поверхности дорожного покрытия, в результате которого измеряется толщина слоя воды на покрытии, определяется наличие на нем снежных и ледяных образований.

Измерения электропроводности и электрохимической поляризации важны при определении на дорожном покрытии удаляющих лед химикатов. Кроме температуры и емкостного сопротивления поверхности сенсор безошибочно определяет температуру замораживания и риск формирования льда.

Удельная проводимость дороги пропадает из-за появления монокристаллического «черного льда». Поэтому сенсор обладает интегрированным детектором «черного льда», который измеряет характерное емкостное сопротивление поверхности дорожного покрытия.

Измерения температуры производятся с использованием точных сенсорных элементов Pt-100 и четырехколесного метода. Они являются решающими при определении скользкости покрытия.

Все измеренные данные, включая атмосферные измерения температуры воздуха, влажности и выпадения осадков, используются дорожной климатической станцией Rosa для определения состояния поверхности дороги.

13.4.3. Детектор текущей погоды PWD11

Измерения с помощью детектора текущей погоды PWD11 представляют собой компактную технологию определения текущей погоды.

Детектор PWD11 – сенсор текущей погоды и видимости, разработанный специально для дорожных метеорологических наблюдений.

Отличительные особенности прибора – компактный размер и относительно небольшая стоимость. Сенсор предназначен для:

- 1) измерения видимости на дорожной магистрали;
- 2) управления различными сообщениями и дорожными знаками;
- 3) определения выпадающих осадков на дорожных климатических станциях;
- 4) предупреждения о туманах и выпадениях осадков в заливах и прибрежных областях.

Детектор измеряет видимость; определяет тип осадков, интенсивность их выпадения и накопления; производит оценку накапливаемого снега.

Плохая видимость – серьезный источник опасных ситуаций в потоках дорожного движения, значительно снижающий его интенсивность. Сенсор PWD11 разработан для точного и надежного определения видимости в конкретных климатических условиях. Он используется для проведения точных измерений преобладающей степени видимости и для автоматического управления различными информационными сообщениями и дорожными знаками.

PWD11 также выявляет причину снижения видимости, что позволяет представить полную картину дорожных условий, определяет тип осадков и измеряет интенсивность их выпадения. Уникальная технология считывания позволяет ему находить разницу между туманом, пылью и другими помехами свободного обзора.

Измерение количества накапливаемых на дорожном покрытии осадков и определение их типа помогают дорожным службам принять решения по техническому обслуживанию дороги в зимнее время. Сенсор PWD11 может фиксировать выпадение снега и дождя очень низкой интенсивности.

Детектор текущей погоды PWD11 измеряет видимость на дороге на основе принципа прямого рассеивания. Прибор компактен, его удобно устанавливать.

Применение автоматического уравнивания (компенсации) осадков обеспечивает получение надежных данных о видимости в любых погодных условиях. Измерение видимости откалибровывается (выверяется) по трансмиссиометру с низким уровнем погрешности. Проверка прибора в условиях эксплуатации может быть проведена при любых погодных условиях (необходимо лишь наличие комплекта инструментов для калибровки). При этом точные измерения гарантированы в течение всего срока службы сенсора.

Датчик имеет инструмент самодиагностики с расширенными возможностями, постоянно отслеживающий статус устройства. Загрязнение датчика или блокировка линз определяются автоматически, поэтому датчик не выдает искаженных данных о видимости.

Уникальная технология определения осадков позволяет осуществлять высокочувствительное и надежное измерение типа осадков.

Сенсор PWD11 объединяет информацию в результате оптических измерений и измерений объема выпадающих осадков, используя усовершенствованный анализ подаваемых сигналов и специально разработанный алгоритм искусственного интеллекта.

Детектор состоит из передатчика и ресивера/контроллера. Сверху корпуса контроллера располагается датчик для измерения объема выпадающих осадков. Длина сенсора – меньше 1 м. Он хорошо защищен от загрязнения. Поскольку оптические модули направлены вниз и защищены специальными колпачками, линзы остаются чистыми при осадках, брызгах или пыли. Сенсор имеет незначительный вес, хорошо зарекомендовал себя в тяжелых климатических условиях и легко устанавливается на любых существующих штангах.

PWD11 присоединяется к головному компьютеру посредством серийного интерфейса RS-232/RS-485, программное обеспечение которого предоставляет возможность прямого подключения к системе анализа состояния дорожного покрытия Rosa фирмы Vaisala. Он может быть использован независимо от станции для дистанционных измерений или для автоматического управления различными сообщениями и дорожными знаками.

13.4.4. Универсальные датчики влажности и температуры HMP45F & HMP45D

Датчики влажности и температуры HMP45A и HMP45D предназначены для совместного использования с широким кругом инструментов, таких как автоматические записывающие устройства (магнитофоны), регистраторы данных, лабораторное оборудование и климатические станции. Они легко соединяются с компьютером и просты в обслуживании.

Датчики производят до 100% измерений относительной влажности с высокой точностью. Они имеют сенсор Vaisala Humicap 180 – один из самых надежных на мировом рынке, – который может использоваться в различных условиях окружающей среды, обладает высокой точностью, работает с незначительным запаздыванием и долгосрочной стабильностью даже при очень высокой влажности, нечувствителен к пыли и толерантен по отношению к большинству химикатов.

Датчики HMP45A и HMP45D удобны для технического обслуживания и ремонта. Их легко проверять в условиях эксплуатации. Головка датчика, включающая сенсор и прочую электронику, легко снимается с корпуса датчика, устанавливается замена, и измерения успешно продолжаются, в то время как снятая головка выверяется в лаборатории. При необходимости данные по температуре и влажности могут быть проверены прямо на месте при помощи индикатора влажности Vaisala HMI41. Регулярные проверки и калибровки можно проводить, не прерывая измерений на долгое время.

Совместная работа сенсора Vaisala Humicap 180 и защищенного датчика IP65 (Nema4) позволяет делать точные и регулярные замеры температуры и влажности. Датчики работают при различных напряжениях питания и обладают низким энергопотреблением, широким диапазоном показателей влажности, благодаря чему обеспечивают универсальное решение различных практических задач.

13.4.5. Анемометр WAA151

Анемометр WAA151 – прибор для измерения скорости ветра – представляет собой оптоэлектронный датчик, быстродействующий, с низким порогом срабатывания и малой инертностью. Вертушка состоит из трех легких конических чашек, обеспечивающих отличную линейность по всему рабочему диапазону до 75 м/с. Вращаемый ветром перфорированный диск, установленный на вал вертушки, прерывает луч инфракрасного света 14 раз за оборот, генерируя выходные импульсы от фототранзистора.

Частота выходного импульса прямо пропорционально связана со скоростью ветра (например, 246 Гц = 26,6 м/с). Однако для наибольшей точности должна быть использована характеристическая передаточная функция для компенсации стартовой инерции и небольшого превышения скорости.

Элемент подогрева во втулке вала предохраняет подшипник от замерзания в холодном климате. Номинальная обеспечиваемая мощность обогрева – 10 Вт. Термостатный переключатель в кронштейне датчиков WAC151 поддерживает обогрев при температуре ниже +4 °С.

При проверке качества анемометра WAA151 проводятся стандартные испытания следующих характеристик: порога срабатывания, постоянной расстояния, передаточной функции, вибро-, влаго- и солеустойчивости и др.

13.4.6. Флюгер WAV151

Флюгер WAV151 – оптоэлектронный прибор для измерения направления ветра, уравновешенный, с низким порогом чувствительности. Инфракрасные светодиоды и фототранзисторы смонтированы на 6 орбитах с каждой стороны 6-битового диска Gray-кода. При обороте флюгера диск меняет код, принимаемый фототранзисторами. Код меняется с шагом 5,6°, 1 бит в единицу времени для устранения неясности кодирования.

Элемент подогрева во втулке вала предохраняет подшипник от замерзания в холодном климате. Номинальная обеспечиваемая мощность обогрева – 10 Вт. Термостатный переключатель установлен в кронштейн датчиков WAC151 для включения питания при температуре ниже +4 °С.

Флюгер спроектирован для монтажа на северном конце стандартного кронштейна с 10-штырьковым разъемом и работает в соответствии со стандартами нижеперечисленных исследовательских испытаний:

- 1) в аэродинамической трубе (для порога срабатывания, постоянной расстояния, передаточной функции);
- 2) на вибрацию;
- 3) на воздействие влажности;
- 4) в солевом тумане.

13.4.7. Кронштейн WAC151

Кронштейн WAC151 предназначен для установки на него анемометра WAA151, анемометра с подогревом WAA251, флюгера WAV151 и других изделий. Кронштейн состоит из алюминиевой трубки с монтажной скобой для установки на вершину мачты и снабжен водостойкой распределительной коробкой, включающей блок винтовой соединительной колодки для подключения силовых и сигнальных кабелей. Внутри распределительной коробки находится также термостат для управления датчиком подогрева.

Кронштейн располагается с ориентацией север-юг, с установкой флюгера на северном конце.

14. ПОКАЗАТЕЛИ И ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Климатология как наука базируется на данных многолетних наблюдений и оперирует средними значениями. При этом широко используются статистические приемы обработки данных метеостанций, которые накапливаются постоянно по определенной установленной системе.

Существенное значение для климатологии имеет расположение метеостанций, тип и характер установок, применяемых приборов, длительная и непрерывная работа станций в неизменных условиях. При обобщении материалов наблюдений широко применяются статистические методы обработки (метод средних величин), современные вычислительные комплексы.

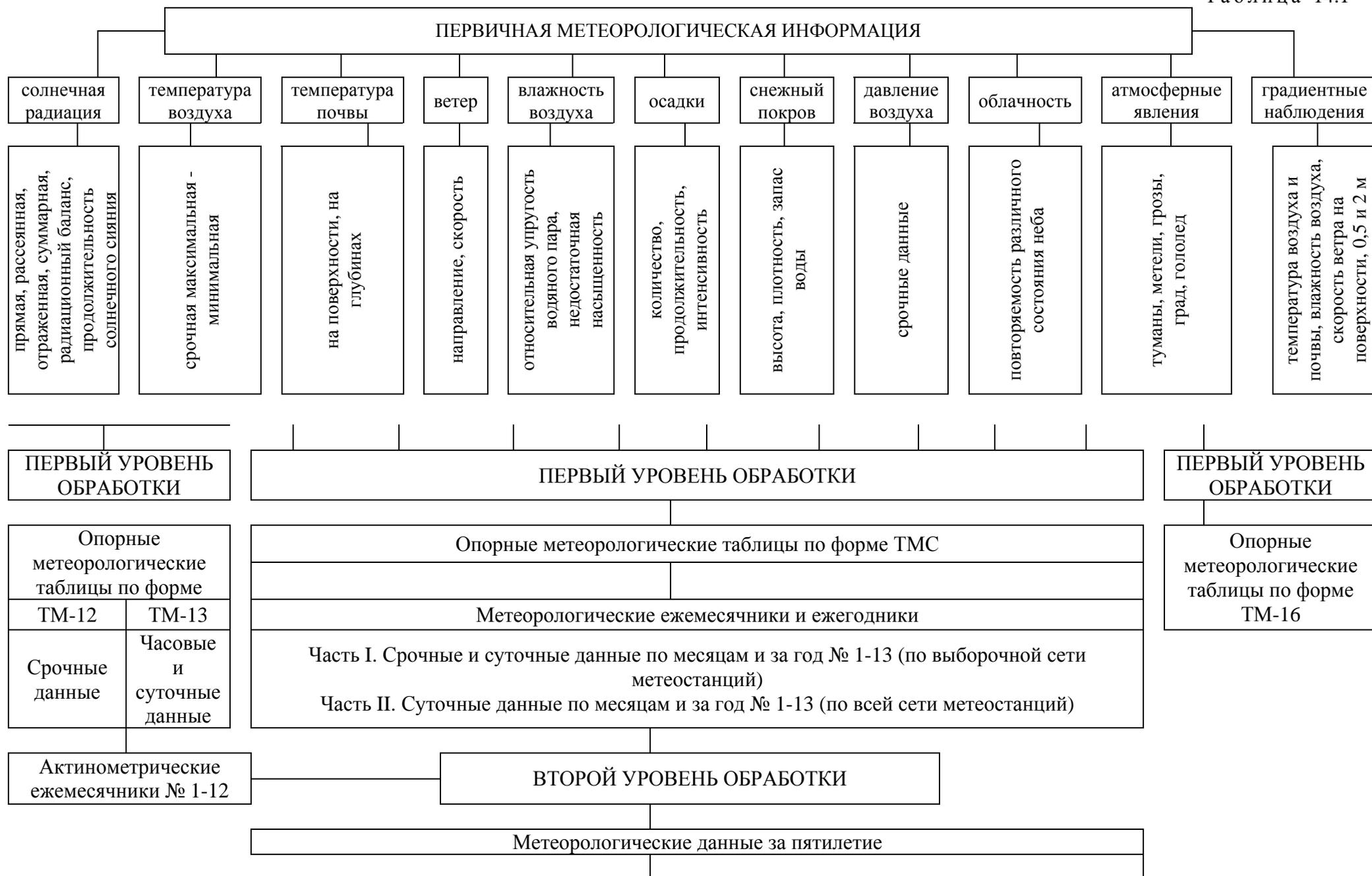
По материалам наблюдений метеорологических станций вычисляются средние многолетние величины и их повторяемость по месяцам для указанных элементов.

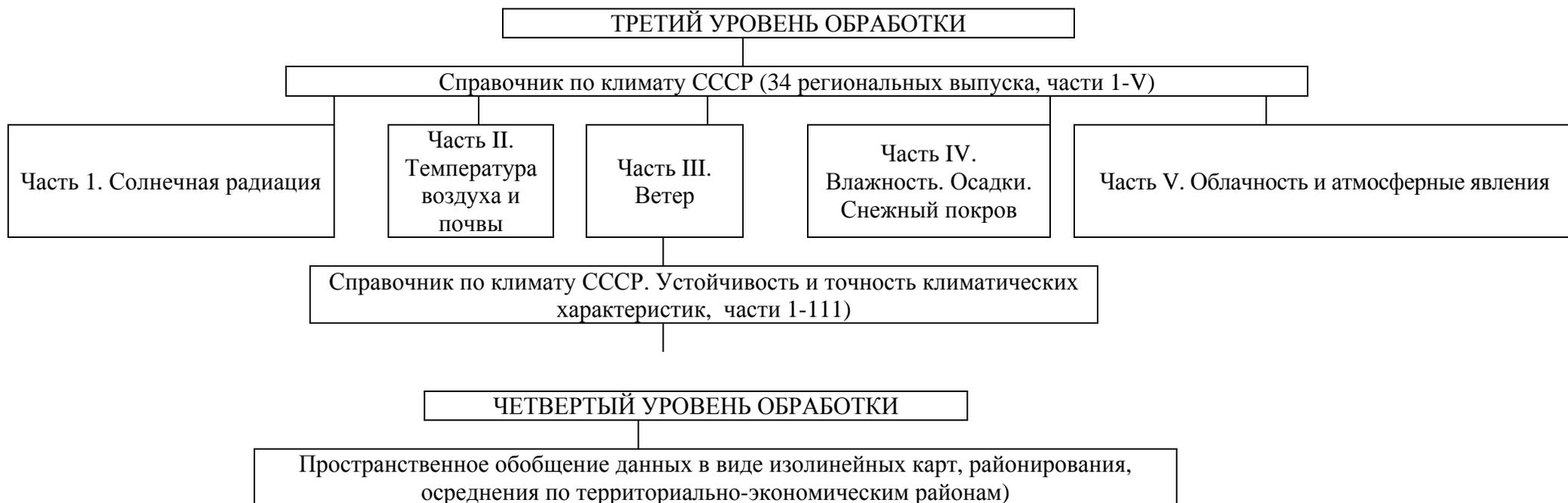
Основная идея метода состоит в достижении полной сравнимости вычисленных средних и других данных. На этом построены все способы расчета и использования многолетних средних величин, приведения результатов наблюдений к одному уровню и одному периоду времени и т.п. Данные, систематизированные с помощью этого метода, наносятся на карты и служат для климатологических обобщений. Уровни обработки метеорологической информации приведены в табл. 14.1.

При проектировании, строительстве и эксплуатации дорог приходится решать различные задачи с учетом климатических показателей, которые можно разбить на три группы:

1. **Показатели временной структуры** – периодические изменения элемента во времени, т.е. суточные, декадные, месячные и годовые изменения параметров, характеризующиеся амплитудой и моментом наступления экстремальных и других значений элементов (средними данными и повторяемостью).

Таблица 14.1





2. **Показатели неперiodичных изменений элемента, связанности рядов между собой, межсуточной изменчивости, непрерывной продолжительности значений элемента выше или ниже заданного уровня** – коэффициент корреляции между соседними членами ряда; среднее значение межсуточных изменений; среднее квадратичное отклонение межсуточных изменений; средняя непрерывная продолжительность значений элемента выше или ниже некоторого заданного значения (уровня); число периодов непрерывной продолжительности значений элемента выше (ниже) заданного уровня; повторяемость и накопленная повторяемость различных значений непрерывной продолжительности выше (ниже) заданного уровня.

3. **Показатели комплексной оценки метеорологических элементов** – повторяемость и накопленная повторяемость сочетаний значений комплексирующих элементов; коэффициент корреляции между значениями комплексирующих элементов; корреляционное отношение.

Все основные метеорологические показатели имеют вероятностную природу, и поэтому при их определении используются **методы математической статистики** и, в частности, устанавливаются:

- 1) повторяемость различных значений элемента;
- 2) накопленная повторяемость (обеспеченность);
- 3) среднее арифметическое значение;
- 4) крайние (максимальное, минимальное) значения;
- 5) показатели изменчивости;
- 6) показатели асимметрии и крутости кривой распределения.

Повторяемость – отношение числа случаев со значениями рассматриваемого метеорологического элемента, входящих в данную градацию (интервал), к общему числу членов ряда. Выражается в долях единицы или в процентах. Суммарную повторяемость, полученную на основании длинного ряда наблюдений, называют интегральной вероятностью, или обеспеченностью.

Накопленная повторяемость – отношение суммарного числа случаев, входящих в градации рассматриваемого участка статистического ряда (до и после определенной величины), к общему числу членов ряда. Ее можно определить последовательным суммированием относительных или средних абсолютных частот соответствующих интервалов в ряду статистического распределения.

Среднее арифметическое значение – отношение суммы значений членов ряда к общему их числу. В качестве дополнительных показателей среднего значения применяются **медиана** – значение среднего члена в ряду значений простого ранжированного распределения, и **мода** – значение, наиболее часто встречающееся в ряду метеорологических измерений.

Крайние значения – предельные показатели метеорологических элементов, зафиксированные в определенный период времени в рассматриваемом географическом пункте. Крайние значения климатических параметров (абсолютная минимальная и абсолютная максимальная температура воздуха, суточный максимум осадков) характеризуют те пределы, в которых заключены значения климатических параметров. Эти характеристики выбирались из экстремальных за сутки наблюдений. Различают абсолютный максимум или минимум, среднее из максимальных или минимальных значений и максимум или минимум заданной обеспеченности.

Показатели изменчивости – расчетные характеристики, с помощью которых оценивается степень рассеивания значений исследуемого элемента по отношению к его среднеарифметическому значению. К показателям изменчивости относятся:

1. Среднеквадратические отклонения

$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_t (x_i - \bar{x})^2},$$

где n – число наблюдений;

x – значение при t -м наблюдении;

x_i – средняя арифметическая величина.

2. Коэффициент вариации

$$C_v = \sigma / \bar{x}.$$

3. Дисперсия

$$x = \sigma^2.$$

Показатели асимметрии – величины, характеризующие закономерности распределения случайных величин, отличающихся от нормального распределения. К ним относятся коэффициент асимметрии и эксцесса.

Коэффициент асимметрии определяется по формуле

$$A = \sum_1^n (x_i - \bar{x})^3 / n\sigma.$$

При $A = 0$ распределение нормальное.

При $A > 0$ распределение асимметричное правостороннее.

При $A < 0$ распределение асимметричное левостороннее.

Асимметрия считается малой при $|A| \leq 0,25$, умеренной при $0,25 < |A| \leq 0,5$ и большой при $|A| > 0,5$.

Коэффициент эксцесса определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \sum_1^n (x - \bar{x})^4 / n\sigma^4 - 3.$$

При $\mathcal{E} = 0$ распределение нормальное. Если $\mathcal{E} > 0$, крутость положительная, и кривая распределения имеет более острую вершину, чем при нормальном распределении. Если $\mathcal{E} < 0$, крутость отрицательная, и прямая имеет более плоскую вершину.

Дорожным организациям приходится пользоваться различными метеорологическими показателями; иногда их надо учитывать при выполнении конструкторских, проектных, технологических и организационных работ. В качестве расчетных могут быть использованы следующие показатели:

1. **Для учета солнечной радиации** – уровень солнечной радиации; уровень солнечной радиации заданной обеспеченности; угол наклона местности (рассматриваемой поверхности) по отношению к солнечным лучам; географическая широта.

2. **Для учета температуры воздуха** – средняя температура воздуха; среднесуточная температура; среднемесячная температура; среднегодовая температура; средняя многолетняя температура; средняя температура наиболее холодного периода года; средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца; средняя амплитуда суточных колебаний температуры; абсолютный максимум; абсолютный минимум; точка росы; продолжительность периода со среднесуточной температурой более t °С; продолжительность периода со среднемесячной температурой менее t °С; средняя продолжительность температуры различных градаций; средняя температура периода со среднемесячной температурой менее t °С; вертикальный градиент температуры; число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С.

3. **Для учета температуры грунта (покрытия)** – температура грунта (почвы) на поверхности; температура грунта на глубине h ; глубина нулевой изотермы; максимальная глубина нулевой изотермы; средняя годовая температура грунта; мощность сезонно-мерзлого слоя грунта.

4. **Для учета влияния ветра** – преобладающее направление ветра; средняя скорость ветра; динамическое давление; скоростной напор.

5. **Для учета влажности воздуха** – упругость водяного пара; абсолютная влажность; удельная влажность; относительная влажность; дефицит влажности заданной обеспеченности; интенсивность испарения воды; продолжительность периода испарения воды; точка росы.

6. **Для учета атмосферных осадков** – среднее количество осадков; количество осадков за число дней с осадками более h мм; средняя интенсивность дождя; число дождей n %-ной обеспеченности; продолжительность осадков n %-ной обеспеченности.

7. **Для учета влияния снежного покрова** – высота снежного покрова; среднедекадная высота снежного покрова; продолжительность залегания снежного покрова.

8. **Для учета атмосферного давления** – сила, действующая на единицу горизонтальной поверхности (мм рт. ст.; Па; мб); динамическое давление).

9. **Для учета тумана** – физические условия образования; синоптические условия образования; повторяемость туманов; агрегатное состояние капель воды и кристаллов льда; распределение температуры в тумане; водность тумана.

10. **Для учета облачности** – микроструктура облаков; водность облаков; высота нижней границы; вертикальная протяженность; степень покрытия неба облаками.

11. **Для учета других атмосферных явлений:** среднее число дней с грозами; среднее число дней с метелями; прозрачность атмосферы (коэффициент); метеорологическая дальность горизонтальной видимости.

Особенности интерпретации и определения численных значений метеорологических характеристик рассмотрим на нижеследующих примерах.

Солнечная радиация (МДж/м²) зависит от географического положения рассматриваемой местности, времени года и облачности. Бывает прямая, рассеянная и суммарная. Определяют

солнечную радиацию на горизонтальную и вертикальную поверхность, а также на вертикальную поверхность соответствующей ориентации (южную, юго-западную, юго-восточную, восточную, западную, северную, северо-западную, северо-восточную).

Данные по солнечной радиации и радиационному балансу приводятся в климатических справочниках и получены на основе материалов актинометрических наблюдений.

В *комплекс актинометрических наблюдений* входят измерения прямой и рассеянной радиации, приходящей к деятельной поверхности; радиации, отраженной от деятельной поверхности; радиационного баланса этой поверхности. *Деятельной поверхностью* называют поверхность почвы, воды и растительности, непосредственно поглощающую солнечную и атмосферную радиацию и отдающую излучение в атмосферу. Солнечная радиация, поступающая на деятельную поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от солнца, называется *прямой солнечной радиацией*. На актинометрических станциях измеряется прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность S .

Количество прямой солнечной радиации, приходящее на горизонтальную поверхность S , зависит от высоты солнца над горизонтом и может быть получено из соотношения

$$S' = S \cdot \sin h_{\theta},$$

где h_{θ} – угловая высота солнца над горизонтом.

Часть солнечной радиации, поступающая к деятельной поверхности Земли со всех точек небесного свода после рассеяния в атмосфере, называется *рассеянной радиацией* D . На актинометрических станциях измеряется рассеянная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность.

Прямая и рассеянная радиация относятся к коротковолновой части спектра (с длиной волн от 0,17 до 4 мкм). Фактически земной поверхности достигают лучи с длиной волны от 0,29 мкм.

Общий приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность, состоящий из прямой и рассеянной радиации, называется *суммарной радиацией* Q :

$$Q = S' + D.$$

Интенсивности и суммы радиации относятся к горизонтальной поверхности или к поверхности, перпендикулярной лучам солнца. По этим данным можно рассчитать интенсивности и суммы прямой радиации, а приближенно – и суммы рассеянной и суммарной радиации, поступающей на вертикальные (стены) и наклонные (склоны) поверхности любой ориентации.

Прямую радиацию на стену или склон рассчитывают по формулам

$$S_{\text{в}} = S \cos h_{\theta} \cos (A_{\theta} - A);$$

$$S_{\text{скл}} = S_{\text{в}} \sin \alpha + S' \cos \alpha,$$

где $S_{\text{в}}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность;

$S_{\text{скл}}$ – прямая солнечная радиация, поступающая на наклонную поверхность ($S_{\text{скл}}$ и $S_{\text{в}}$ имеют одинаковый азимут);

S – прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к лучам поверхность;

S' – прямая солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность;

h_{θ} – высота солнца;

A_{θ} – азимут солнца;

A – азимут нормали к вертикальной поверхности;

α – крутизна склона.

Уровень солнечной радиации заданной обеспеченности определяется на основании многолетних данных для определенного месяца или определенной местности. Например, если

требуется определить максимальную суммарную радиацию 5 %-ной обеспеченности, необходимо провести выборку за 30-50 лет. Данные располагаются в убывающем порядке.

Таблица 14.2

Определение максимальной суммарной радиации

Максимальная солнечная радиация, МДж/м ²	Порядковый номер	Максимальная солнечная радиация, МДж/м ²	Порядковый номер
750	1	...	...
748	2	620	45
745	3	618	46
730	4	615	47
728	5	611	48
725	6	609	49
...	...	602	50

Максимальная солнечная радиация округляется до 5 МДж/м², и определяется средний порядковый номер:

750	1,5	...	...
745	3	620	45,5
730	4,5	615	47
725	6	610	48,50
...	...	600	50

Интегральная вероятность определяется по формуле

$$P = 1 - \frac{m_{\text{ср}} - 0,3}{n + 0,4},$$

где $m_{\text{ср}}$ – средний порядковый номер;

n – число членов ряда.

В результате вычислений имеем:

$P_{1,5} = 0,98$	.....
$P_3 = 0,95$	$P_{45,5} = 0,10$
$P_{4,5} = 0,92$	$P_{47} = 0,07$
$P_6 = 0,89$	$P_{48,5} = 0,04$
.....	$P_{50} = 0,01$

На основании этих данных можно построить график, и по нему определить искомое значение:

$$P_{5\%} = 610 \text{ МДж/м}^2.$$

Среднесуточная температура воздуха определяется как среднее арифметическое значение на основании систематических измерений температуры на метеостанции, производимых с интервалом 3 часа (в 0; 3; 6; 9 и т.д.).

Пример. При измерении температуры на станции N были установлены данные: 10; 10,1; 10,2; 12,3; 14,5; 16,2; 14,1; 11,4.

При этих данных среднесуточная температура будет равна

$$T_{\text{ср с}} = \frac{\sum T_{\text{ч}}}{n} = \frac{98,8}{8} = 12,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Среднемесячная температура воздуха определяется как среднее арифметическое на основании среднесуточных температур.

На метеостанции «Минск» установлены следующие среднесуточные температуры в апреле:

5,3	6,3	5,9	4,3	5,3	3,8	7,6	6,4	6,9	5,2
5,6	4,8	6,1	6,0	5,8	6,5	7,9	4,6	5,6	4,3
7,4	6,6	7,0	5,4	5,6	4,9	6,2	6,1	4,8	8,1

Среднемесячная температура будет равна

$$T_{\text{ср м}} = \frac{\sum_{i=1}^{30} T_{\text{ср с}}}{30} = \frac{176,3}{30} = 5,91 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Среднегодовая температура воздуха определяется как среднее арифметическое среднемесячных или среднесуточных температур.

Пример. Среднемесячная температура воздуха для Гомельской области равна: -6,9; -6,3; -1,8; 6,3; 13,7; 16,9; 18,6; 17,4; 12,5; 6,4; 0,6; -4,3.

Среднегодовая температура в этом случае будет равна

$$T_{\text{ср г}} = \frac{\sum_{t=1}^{12} T_{\text{ср м}}}{12} = \frac{73,4}{12} = 6,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура воздуха наиболее холодных суток. Наиболее холодными сутками в рассматриваемом периоде (декада, месяц, год) являются те, у которых средняя арифметическая величина имеет минимальное значение.

Так, в примере среднемесячной температуры воздуха температура самых холодных суток (6 апреля) была равна 3,8 °С.

По аналогии определяется и **температура воздуха наиболее теплых суток.** В указанном примере (30 апреля) она была равна 8,1 °С.

Абсолютный максимум (минимум) температуры воздуха.

Различают **абсолютный максимум (минимум)** – самую высокую (низкую) температуру, которая зафиксирована в рассматриваемом периоде времени, и **средний из ежегодных абсолютных максимумов (минимумов)**, определяемый как среднеарифметическое за ряд лет.

Вероятность температуры ниже или выше абсолютного минимума (максимума) определяется путем деления числа членов ряда, выходящих за указанный интервал, к общему числу членов ряда.

Данные для условий города Минска на основании многолетних наблюдений приведены в табл. 14.3.

Таблица 14.3

Вероятность температуры ниже или выше абсолютного минимума

Абсолютный максимум, °С	≥28	≥29	≥30	≥31	≥32	≥33	≥34
Вероятность, %	95	90	75	50	25	10	5

Абсолютный минимум, °С	≥-36	≥-33	≥-30	≥-27	≥-25	≥-21	≥-20
Вероятность, %	5	10	25	50	75	90	95

Температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодных пятидневок за длительный период времени.

На основании данных ежемесячных метеонаблюдений производится выборка температуры наиболее холодных суток и наиболее холодных пятидневок за 30-50 лет. Данные в убывающем порядке сводятся в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Данные о температуре наиболее холодных суток и пятидневок

Наиболее холодные сутки		Наиболее холодная пятидневка	
температура, °С	порядковый номер	температура, °С	порядковый номер
-33,2	1	-28,5	1
-33,1	2	-26,2	2
-32,4	3	-26,0	3
...
-13,0	28	-12,4	28
-13,1	29	-10,3	29
-12,4	30	-10,1	30

Затем производится округление температуры с точностью до 0,5 °С. Для каждого значения определяется средний порядковый номер. В данном примере имеем

-33,0	–	1	-28,5	–	1
-33,0	–	2	-26,0	–	2
-32,5	–	3	-26,0	–	3
...	–	–	...
-13,0	–	28	-12,5	–	28
-13,0	–	29	-10,0	–	29
-12,5	–	30	-10,0	–	30

Интегральная вероятность (обеспеченность) вычисляется по формуле

$$P = 1 - \frac{m_{\text{ср}} - 0,3}{n + 0,4},$$

где $m_{\text{ср}}$ – средний порядковый номер;

n – число членов ряда, равное принятому числу лет наблюдений.

Интегральная вероятность равна

$$P = 1 - \frac{1,5 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,96; \quad P = 1 - \frac{1 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,98;$$

$$P = 1 - \frac{3 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,91;$$

$$P = 1 - \frac{2,5 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,93;$$

.....

.....

$$P = 1 - \frac{28,5 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,07;$$

$$P = 1 - \frac{28 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,09;$$

$$P = 1 - \frac{30 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,02;$$

$$P = 1 - \frac{29,5 - 0,3}{30 + 0,4} = 0,04.$$

На основании полученных данных в логарифмических координатах строятся интегральные кривые (по оси ординат – логарифмическая шкала температуры воздуха, по оси абсцисс – двойная логарифмическая шкала обеспеченности) (рис. 14.1).

С кривой обеспеченности снимается температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки заданной обеспеченности.

Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций.

За исходную принимается информация о температуре воздуха в определенные сроки наблюдений (обычно – начиная с 0 часов и далее через 3 часа).

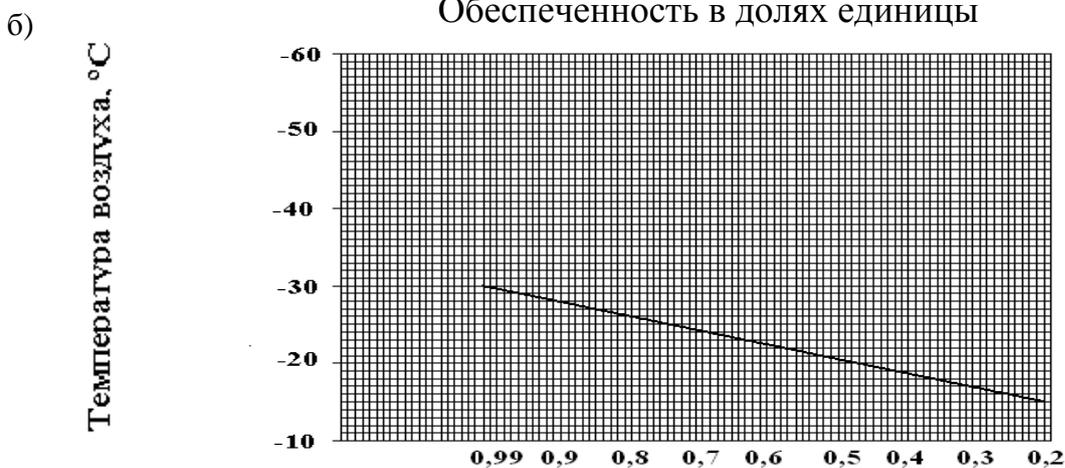
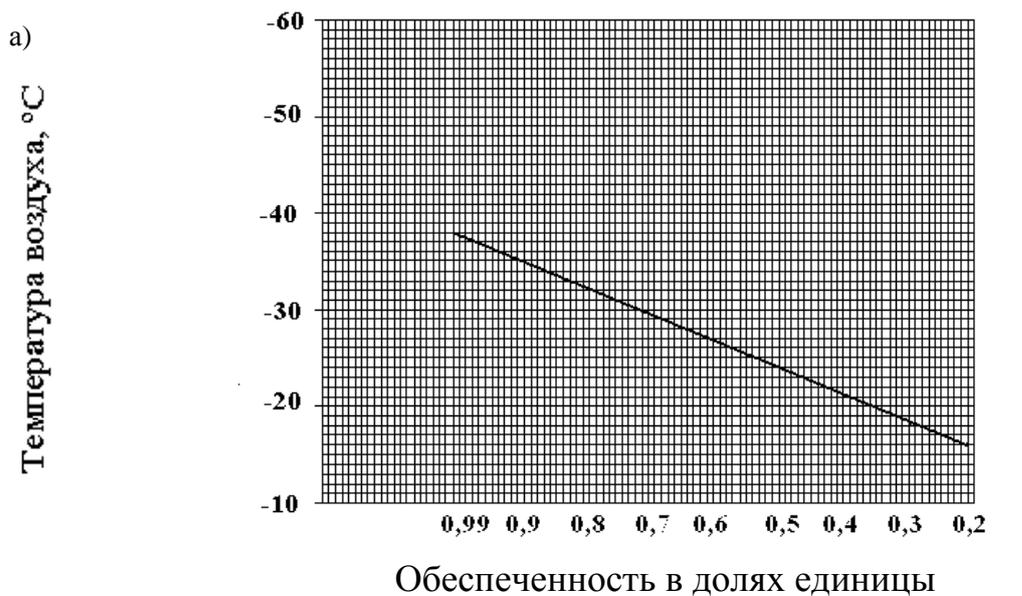


Рис. 14.1. Интегральные кривые температуры воздуха:
а – наиболее холодных суток; б – наиболее холодной пятидневки

Данные средней продолжительности температуры воздуха различных градаций представляют собой статистическую совокупность числовых значений температуры воздуха t_i , имеющую вид статистического распределения. Оно состоит в группировке числовых значений температуры воздуха по определенным градациям (середины градаций t_1, t_2, \dots, t_k) и подсчете абсолютной (m_1, m_2, \dots, m_k) и относительной (P_1, P_2, \dots, P_k) частоты каждой градации температуры воздуха.

Абсолютная частота есть число случаев попадания значений температуры воздуха в ту или иную градацию, причем $\sum m_i = n$, т.е. равна числу наблюдений. Относительная частота градаций выражается отношением $P_i = m_i/n_i$, причем $\sum P_i = 1$.

Статистическая совокупность в виде распределения позволяет получить первое представление об основных закономерностях многолетнего режима температуры воздуха, о наиболее часто встречающихся значениях температуры воздуха и диапазоне ее изменений.

Накопление частоты получают, суммируя последовательно абсолютные или относительные частоты. Выражения для накопленных частот при числе градаций k имеют вид:

<p>не больше t_i:</p> $m \leq t_i = \sum_1^i m_j;$ $P \leq t_i = \sum_1^i P_j;$	<p>не меньше t_i:</p> $m \geq t_i = \sum_1^k m_j;$ $P \geq t_i = \sum_1^i P_j.$
--	--

Накопленные относительные частоты иногда вычисляют, используя ранжированный ряд (расположение в порядке возрастания или убывания числовых значений членов ряда), по формуле

$$P \leq t_i = m_i / (n + 1),$$

где m_i – порядковый номер члена ряда;

n – статистический ряд.

Пример. В результате наблюдений за температурой воздуха получены следующие данные:

t_B	0	5	10	15	20	25	30	
повторяемость m_i	4	6	8	12	15	10	5	$\Sigma 60$

Абсолютные частоты в этом случае будут соответственно равны 4, 6, 8 и т.д. Их сумма составит 60.

Относительные частоты получим из выражения $P_i = m_i/n$. В данном примере

$$P_0 = 4/60 = 0,06;$$

$$P_5 = 6/60 = 0,10;$$

$$P_{10} = 8/60 = 0,14;$$

$$P_{15} = 12/60 = 0,20;$$

$$P_{20} = 15/60 = 0,25;$$

$$P_{25} = 10/60 = 0,17;$$

$$P_{30} = 5/60 = 0,08;$$

$$\sum P_i = 0,06 + 0,10 + \dots + 0,08 = 1,00.$$

Накопленные частоты в этом случае могут быть представлены так:

Абсолютная частота	$m = 18$ температуры $t < 15$ °С;
	$m = 5$ температуры $t > 25$ °С;
Относительная частота	$P = 0,3$ температуры $t < 15$ °С;
	$P = 0,08$ температуры $t > 25$ °С.

Относительная частота изменения температуры от 10 до 25 °С составляет $P = 0,62$.

Число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С. Измерения температуры максимальными и минимальными термометрами позволяют зафиксировать ее экстремальные значения, то есть наиболее высокую и наиболее низкую температуру. Если максимальная температура положительна, а минимальная – отрицательна, имеет место переход температуры воздуха через 0 °С.

При установившейся среднесуточной температуре ниже 0 °С факт перехода температуры в положительную область свидетельствует об оттепели. И, наоборот, при среднесуточной положительной температуре появление отрицательных температур на минимальном термометре свидетельствует о заморозках.

Переходы температуры через 0 °С отрицательно сказываются на состоянии дорожного покрытия; иногда в таких условиях не могут выполняться дорожно-строительные работы.

Расчетная температура воздуха заданной обеспеченности. Расчетную температуру воздуха требуется знать для определения оптимальных размеров дорожных плит, их продольной устойчивости, глубины протаивания оснований и т.д. В зависимости от конкретной задачи расчетная температура обычно выбирается из перечня температур, приведенных в справочниках по климату. В перечнях приводятся среднемесячные, среднегодовые, абсолютные максимальные, минимальные, среднемаксимальные температуры воздуха наиболее жаркого месяца года, а также температуры с обеспеченностью 0,92 и 0,98 для наиболее холодных суток и для наиболее холодной пятидневки и средние температуры наиболее холодного периода для разных пунктов местности.

За **расчетную температуру** необходимо принимать максимальную (минимальную) температуру воздуха в расчетном месяце года за расчетный период эксплуатации объекта. Для покрытия с расчетным сроком эксплуатации n лет обеспеченность расчетной температуры воздуха p принимается $n^{-1} \cdot 100\%$.

Для решения задачи в такой постановке расчетная максимальная (минимальная) температура воздуха за сутки, имеющая обеспеченность p %, $t_{a p\%}^{\max(\min)}$, может быть принята равной сумме среднемаксимальной (среднеминимальной) температуры воздуха и нормированной положительной (отрицательной) добавки к ней $\pm \Delta t_{a p\%}$:

$$t_{a p\%}^{\max(\min)} = t_{a \text{mid}}^{\max(\min)} \pm \Delta t_{a p\%}.$$

В формуле знак «+» принимается для определения максимальной, знак «-» – для минимальной суточной температуры воздуха обеспеченностью p %.

Обозначения температур приведены ниже в общем перечне:

t_a – температуры воздуха; t_{ma} – среднемесячная температура воздуха; A_{ma} – среднемесячная амплитуда температуры воздуха; $t_{a \text{mid}}^{\max(\min)}$ – среднемаксимальная (среднеминимальная); $\Delta t_{a \text{mid}}^{\max(\min)}$ – среднее отклонение температуры от $t_{a \text{mid}}^{\max(\min)}$; $t_{a i}^{\max(\min)}$ – i -е отклонение температуры от $t_{a \text{mid}}^{\max(\min)}$; $t_{a \text{abs}}^{\max(\min)}$ – абсолютная максимальная (минимальная); $\Delta t_{a p\%}$ – нормированная (положительная или отрицательная) добавка температуры к $t_{a \text{mid}}^{\max(\min)}$; $t_{a p\%}^{\max(\min)}$ – расчетная температура воздуха p % обеспеченности.

Расчетная схема, совмещенная с реальными наблюдениями, представлена на рис. 14.2, там же даны пояснения температур.

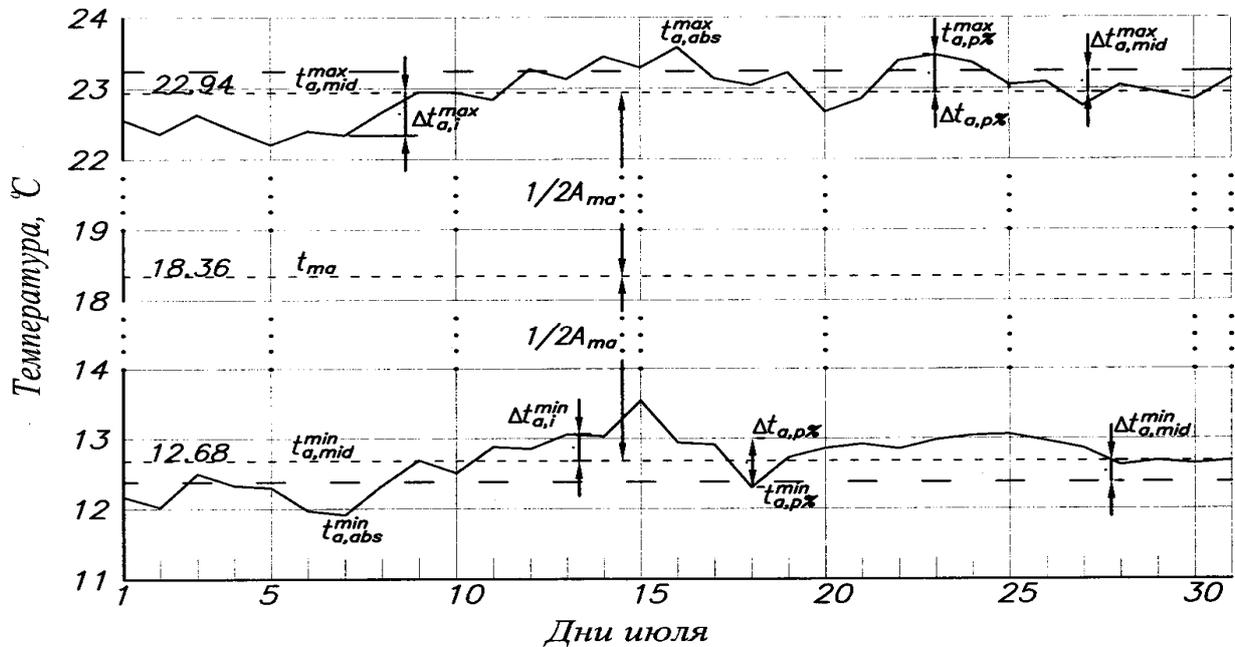


Рис. 14.2. Месячный ход максимальных и минимальных суточных температур воздуха в г. Минске (июль 2004 г.). Расчетная схема для определения температуры воздуха с обеспеченностью $p\%$

Фактически решение задачи сводится к нахождению закономерности отклонения расчетных температур от среднемноголетних – среднемаксимальных или средниминимальных. При этом принимается, что процесс изменения температур относительно их среднемаксимальных (средниминимальных) значений является случайным, стационарным и обладает свойством эргодичности. При таком решении задачи закономерность случайных отклонений температур в одном месяце года является такой же, как и за все годы эксплуатации для этого же месяца, поэтому нет необходимости учитывать ее в расчете вариации среднемесячных температур разных лет.

В вышеприведенной формуле параметр $t_{a,mid}^{\max(\min)}$ принимается по справочным данным, а при их отсутствии определяется равенством

$$t_{a,mid}^{\max(\min)} = t_{ma} \pm 1/2A_{ma}.$$

Проверка этого равенства для объектов, расположенных в разных природно-климатических условиях, показала, что его точность находится в пределах десятых долей градуса. При использовании для его проверки данных из СНиП 2.01.01-82 и других справочников по климату параметры $t_{a,mid}^{\max(\min)}$, t_{ma} и $1/2A_{ma}$ для каждого случая необходимо принимать для одного и того же месяца года, учитывая при этом, что наиболее жарким месяцем не обязательно является июль.

Глубина нулевой изотермы. С помощью вытяжных термометров, которые располагаются на глубине 20, 40, 80, 160 и 320 см от поверхности земли, ежедневно определяется температура грунта (почвы). Принимается, что температура изменяется равномерно по мере заглубления. Нулевая изотерма определяется методом линейной интерполяции.

Например, при очередном измерении было установлено, что температура на глубине $h_{20} = -5$ °C, а на глубине $h_{40} = -3$ °C. Требуется определить глубину нулевой изотермы.

Составим зависимость

$$\frac{|t_{20}|}{x} = \frac{|t_{40}|}{20 - x},$$

отсюда

$$x = \frac{20 \cdot t_{20}}{t_{40} + t_{20}} = \frac{20 \cdot 5}{3 + 5} = 12,5.$$

Глубина нулевой изотермы

$$h_0 = 20 + 12,5 = 32,5 \text{ см.}$$

Аналогичным способом определяется глубина нулевой изотермы за месяц и год. Средние многолетние значения вычисляются на основании ежегодных данных. Кроме средних значений глубин проникновения температуры 0°C в грунт или почву выбирают наибольшие и наименьшие значения из всего ряда наблюдений.

Высота и продолжительность залегания снежного покрова. Высота снежного покрова определяется двумя критериями: средней наибольшей декадной высотой и наибольшей из наибольших декадных. Средняя наибольшая декадная высота снежного покрова за зиму вычисляется как среднеарифметическая наибольших декадных величин за каждый год наблюдения независимо от месяца и декады, когда это имело место.

Например, по данным 40-летних наблюдений известны максимальные декадные высоты снежного покрова ($h_{\text{сп}}$, см):

Год	1964	1965	.....	2003	2004
$h_{\text{сп}}$	25	40	.....	20	35

Среднее значение в этом случае будет равно

$$h_{\text{сп(ср max)}} = \frac{\sum_{i=1}^{40} h_{\text{сп}}(i)}{40} = \frac{25 + 40 + \dots + 35}{40} = 30 \text{ см.}$$

Наибольшая высота снежного покрова выбирается из многолетних декадных значений за весь период наблюдений. В приведенном примере $h_{\text{сп(max)}} = 30$ см.

Продолжительность залегания снежного покрова – это промежуток времени от даты образования устойчивого снежного покрова до его разрушения, причем устойчивым снежным покровом считается тот, который сохраняется в течение 30 дней с перерывами не более 3 дней подряд; разрушенным же считается снежный покров, если окрестность покрыта снегом менее чем на 60 % (менее 6 баллов).

Скорость ветра определяется на высоте 10-12 м и на расстоянии от окружающих предметов, равном 10-20-кратной высоте. Интервал измерения устанавливается Положением о метеостанциях (1965 г.) 8 раз в сутки. Все вычисления ведутся как среднеарифметические, среднесуточные, среднемесячные, среднегодовые и средние многолетние.

Повторяемость скорости ветра вычисляется как отношение числа ветров заданной градации к общему числу зафиксированных значений. Градацию обычно принимают:

0-1	6-7	12-13	18-20
2-3	8-9	14-15	21-24
4-5	10-11	16-17	

Фактические значения округляются в соответствии с этой градацией по правилам округления.

Повторяемость может быть вычислена для различных часов суток, а также среднесуточная, среднемесячная, среднегодовая и средняя многолетняя.

Непрерывная продолжительность ветра различной скорости (число градаций) определяется на основании метеорологических наблюдений. Градация скоростей может быть различной, но чаще всего с интервалами: 0-1, 2-5, 6-9, 10-13, 14-17 и т.д.

Градации продолжительности ветра: 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-24, 25-36, 37-48, 49-72, >72.

Повторяемость различных направлений ветра и штилей (в %) вычисляется для определенного времени (средняя для месяца, средняя для определенного часа дня за месяц, средняя годовая и т.п.). Повторяемость во всех этих случаях будет представлять собой отношение числа случаев заданной градации к общему числу членов рассматриваемого ряда. Классификация ветров по Бофорту представлена в табл. 8.1.

Влажность воздуха. Для характеристики влажности воздуха в различные часы суток, а также для вычисления средних, максимальных, минимальных значений за определенный период используются следующие величины: упругость водяного пара, относительная влажность, недостаток насыщения и др. Как и для других метеорологических элементов, для них могут быть вычислены среднеарифметические величины, определены экстремальные значения (максимальные или минимальные), установлена повторяемость тех или иных значений.

Дальность видимости. Различают дневную и ночную видимость.

Дальность дневной видимости – предельное расстояние, при котором удаленный предмет становится неотличимым от окружающего фона (перестает быть видимым). **Дальность видимости огней** – расстояние, на котором точечный источник света определенной силы перестает восприниматься глазом.

Дальность видимости зависит от ряда факторов – геометрических параметров объекта, освещенности, цвета и яркости предметов и фона, прозрачности атмосферы. Днем человек видит предметы, размеры и расстояние до которых относятся как 1/150 и более. Дневная освещенность колеблется от 400 до 100 тыс. лк, а глаз человека сохраняет устойчивость восприятия в пределах 20-20 тыс. лк. Цвет и яркость предметов и фона принято оценивать величиной яркостного контраста (от 0 до 100 %). Предмет становится видимым, если яркостной контраст превышает 2 %. Прозрачность атмосферы характеризуется коэффициентом прозрачности, который показывает, насколько световой поток, проходящий через слой атмосферы толщиной 1 км, ослабляется находящимися в этом слое различными примесями.

Метеорологическая дальность горизонтальной видимости в дневное время определяется по формуле

$$S_{\text{м}} = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{K_0}{\varepsilon},$$

где α – показатель ослабления видимости на единицу длины;

K_0 – первоначальный контраст между объектом и фоном;

ε – неразличимая глазом относительная разность между яркостями достаточно большого объекта и фона ($\varepsilon \approx 0,02$).

Сопротивление воздушной среды. При движении на автомобиль оказывает влияние воздушная среда. Аэродинамическая сила сопротивления в элементарном виде может быть выражена формулой

$$W_{\rho} = CS \cdot \frac{\rho v^2}{2},$$

где C – коэффициент аэродинамической силы (лобового сопротивления), зависящий от формы автомобиля и степени гладкости его поверхности;

S – лобовая поверхность автомобиля, м²;

v – скорость движения относительно воздуха, м/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

При решении других инженерных задач, связанных с учетом метеорологических характеристик, могут потребоваться иные данные. Для их получения целесообразно использовать фундаментальные теории метеорологического анализа и статистики.

15. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В дорожном отношении территория СНГ разделена на 5 зон. Республика Беларусь относится ко II дорожно-климатической зоне, включающей районы, где переходные периоды длятся 40 – 110, а в зимний период – 40 – 125 суток. Зима в этих районах малоснежная, с частыми оттепелями, поэтому расчетным состоянием для них следует считать повышенную скользкость покрытия и подверженность дорожной конструкции значительным воздействиям мигрирующей влажности и знакопеременным температурам. Районирование СНГ разработано с учетом определенной степени увлажнения территории и факторов, влияющих на пучинообразование. Оно отражает лишь общую зависимость проектирования и строительства дорог от климата и большинства других природных условий, и поэтому является схематичным.

Учет местных условий позволяет более обоснованно подойти к принятию проектных решений. Следовательно, при проектировании дорог необходимо не ограничиваться общей характеристикой климата, полученной путем отнесения района прилегания трассы к соответствующей зоне, а изучать с достаточной подробностью климатические элементы по данным местных метеорологических станций.

Существенное значение для проектирования дороги имеют следующие климатические элементы:

1. Годовая сумма осадков и их распределение по месяцам; разделение их на твердые и жидкие; интенсивность, продолжительность и частота дождей.
2. Годовой режим температуры воздуха – максимальные, минимальные и средние месячные температуры.
3. Режим формирования снежного покрова; продолжительность его залегания; средние числа начала и конца устойчивого покрова; толщина снежного покрова по месяцам; частота и интенсивность метелей.
4. Сила ветра и его направление, особенно зимой, когда возможны метели и заносы дорог.
5. Глубина промерзания грунта, режим его промерзания и оттаивания.
6. Температура на поверхности покрытия и в его глубинах.
7. Условия испарения влаги.

Каждый из приведенных климатических элементов имеет свое определенное проектное назначение.

Важным для дорожной практики является режим атмосферных осадков, их годовое количество, сезонное и месячное распределение, продолжительность и интенсивность отдельных дождей. Под влиянием осадков формируется поверхностный сток, режим рек и работа водоотводных сооружений, происходят увлажнение поверхности покрытия и водонасыщение земляного полотна, заносы дорог снегом и эрозия неукрепленных поверхностей насыпей и выемок. Сезонное распределение осадков различно не только для разных мест, но и для одного и того же места в различные годы. Для суждения о режиме работы дорожных служб и об условиях строительного сезона следует знать число дней с осадками разной интенсивности.

Одной из важнейших климатических характеристик климата является температура воздуха. Колебания температуры в течение года влияют на условия просыхания дорог, особенно грунтовых и гравийных, на их пылимость, поэтому их следует учитывать при применении органических вяжущих, организации строительства дорог и обеспечении требуемых транспортно-эксплуатационных качеств проезжей части.

На климат определенной местности оказывают влияние местные природные условия, вследствие чего необходимо учитывать микроклимат различных районов. В вогнутых формах рельефа суточные колебания температуры больше, минимумы температур ниже и весенние заморозки заканчиваются позже, чем на холмах и на возвышенностях. В районах, лежащих высоко над уровнем моря, где сухость воздуха выше, интенсивность солнечной радиации больше, почва прогревается сильнее, чем в нижележащей местности.

Существенную роль играет и экспозиция склонов земной поверхности относительно солнца: южные склоны получают большее число часов солнечного прогрева, и поэтому раньше освобождаются от снега, чем северные, почва сильнее прогревается и скорее просыхает.

Наличие леса способствует уменьшению амплитуд колебания температуры воздуха и почвы, их температура здесь обычно ниже, чем на открытой местности. Это обстоятельство оказывает заметное влияние на просыхание дорожного полотна в лесу.

Кроме того, на режим влажности грунтов земляного полотна оказывают влияние влажность воздуха и условия испарения. Влажность и испарение в данной местности определяются температурой и количеством осадков, однако имеют значение и местные факторы, – например, рельеф и растительность. При повышенной относительной влажности испарение влаги с поверхности затрудняется, поскольку интенсивность испарения пропорциональна дефициту влаги в воздухе. Особо неблагоприятным периодом для испарения, а, следовательно, и для просыхания грунтов является осень, когда при сравнительно низких температурах наблюдается высокая относительная влажность воздуха.

Режим зимы с точки зрения строительства и содержания дорог определяется началом и концом устойчивого снежного покрова, его средней продолжительностью и толщиной, плотностью снега, числом дней без оттепелей, режимом метелей. Эти элементы климата определяют увлажнение и оттаивание полотна, образование и таяние пучин, снеготранспортируемость дороги, высоту и длительность весеннего паводка на реках.

Глубина промерзания зависит от устойчивости и величины температур ниже 0°C в первую половину зимы, от толщины снежного покрова, времени его образования и свойств грунта. Под дорогой глубина промерзания грунта больше, чем в поле, где поверхность земли покрыта слоем снега. При соответствующих грунтах и водном режиме дорожного полотна образование пучин связано с глубиной промерзания.

Кроме указанных факторов устанавливается продолжительность светового времени суток в связи с необходимостью планирования многосменной работы строительных бригад.

Для климатической характеристики района дислокации проектируемой дороги обычно прибегают к составлению погодно-климатического графика, используя для этого материалы ближайших метеорологических станций.

В условиях Республики Беларусь при решении общих вопросов проектирования дорог климатические элементы могут устанавливаться на основании принятого здесь дорожного районирования.

С учетом глубины залегания грунтовых вод, температуры воздуха, количества осадков и испарения, глубины и скорости промерзания грунтов территория Беларуси разделена на 3 района: северный, центральный и южный.

Для обеспечения морозостойкости дорожной конструкции, возводимой на земляном полотне из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов, выделены 6 изолиний, регламентирующих требования к толщине дорожной одежды.

По условиям снегоборьбы и возникновения скользкости территория также разделена на ряд районов, которые необходимо учитывать при проектировании дорог.

Численное значение основных климатических элементов можно найти в приложениях настоящего издания. Методология их использования зависит от тех задач, которые решаются проектировщиком.

Практическое использование метеорологических характеристик при проектировании автомобильных дорог можно проиллюстрировать следующим образом:

1. При проектировании дорог, как отмечалось выше, необходимо не ограничиваться общей характеристикой климата, полученной путем отнесения района пролегания трассы к определенной зоне, а изучить с достаточной подробностью климатические элементы по данным местных метеорологических станций и принимать их во внимание наряду с общими данными для соответствующих дорожно-климатических зон.

2. При проектировании земляного полотна, дорожных одежд и других дорожных сооружений учитываются: общие погодно-климатические характеристики района, уровень залегания грунтовых вод, высота снежного покрова, глубина промерзания грунтов и др.

3. Для определения объема поверхностного стока, расчетных расходов водотоков и боковых водоотводных канав необходимы данные о годовой сумме осадков и их распределении по месяцам; разделении их на твердые и жидкие; интенсивности, продолжительности и частоте дождей; месячных и годовых суммах осадков различной обеспеченности.

4. Проектирование дорожных одежд, особенно с использованием в качестве материалов для их устройства органоминеральных смесей, требует знания годового режима температуры воздуха, а также показателей максимальных, минимальных и среднемесячных температур.

5. Проектирование тепло- и гидроизоляционных прослоек базируется на учете глубины промерзания грунтов и конструктивных слоев дорожной одежды, их водно-теплового режима, влияния температуры атмосферного воздуха на нагревание поверхности проезжей части.

6. Сила ветра создает дополнительную нагрузку, а поэтому многие несущие конструкции (опоры, пролетные строения мостов, павильоны, малые архитектурные формы и др.) рассчитываются с учетом этой нагрузки.

Скоростной напор воздушного потока определяется по формуле

$$\sigma = \frac{\rho \cdot v^2}{2},$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

v – скорость воздушного потока, м/с.

Очевидно, что сила ветра, действующая на площадь F , будет равна

$$Q = \frac{\rho \cdot F \cdot v^2}{2}, \text{ Н.}$$

7. Решение задач о выборе средств защиты автомобильной дороги от снежных заносов связано с учетом снежно-метелевого режима. Следовательно, необходимо изучить режим снегового покрова, начало и конец устойчивого покрова, изменение его толщины по месяцам, частоту и интенсивность метелей и др.

Данные о снеговом покрове необходимы и при проектировании высоты земляного полотна, разработке мероприятий по зимнему содержанию дорог.

8. Проектирование ряда технологических процессов связано с интенсивностью высыхания грунта и различных дорожно-строительных материалов. Поэтому здесь требуются данные об испарении воды, о степени нагревания поверхности и др.

9. Организация изыскательских и строительных работ требует учета продолжительности светового дня, погодных особенностей рассматриваемого периода года.

10. При проектировании автомобильных дорог и системы их эксплуатации учитываются особенности микроклимата, который формируется под воздействием местных природных условий.

11. Удобной формой представления данных о климатических особенностях района дислокации автомобильной дороги является дорожно-климатический график (рис. 15.1), который составляется по материалам ближайших метеорологических станций или по данным климатологических справочников. Такой график позволяет иметь данные о среднемесячной температуре воздуха, среднем минимуме температуры, относительной влажности воздуха, атмосферных осадках, глубине промерзания грунта, преобладающих ветрах, продолжительности светового времени и др.

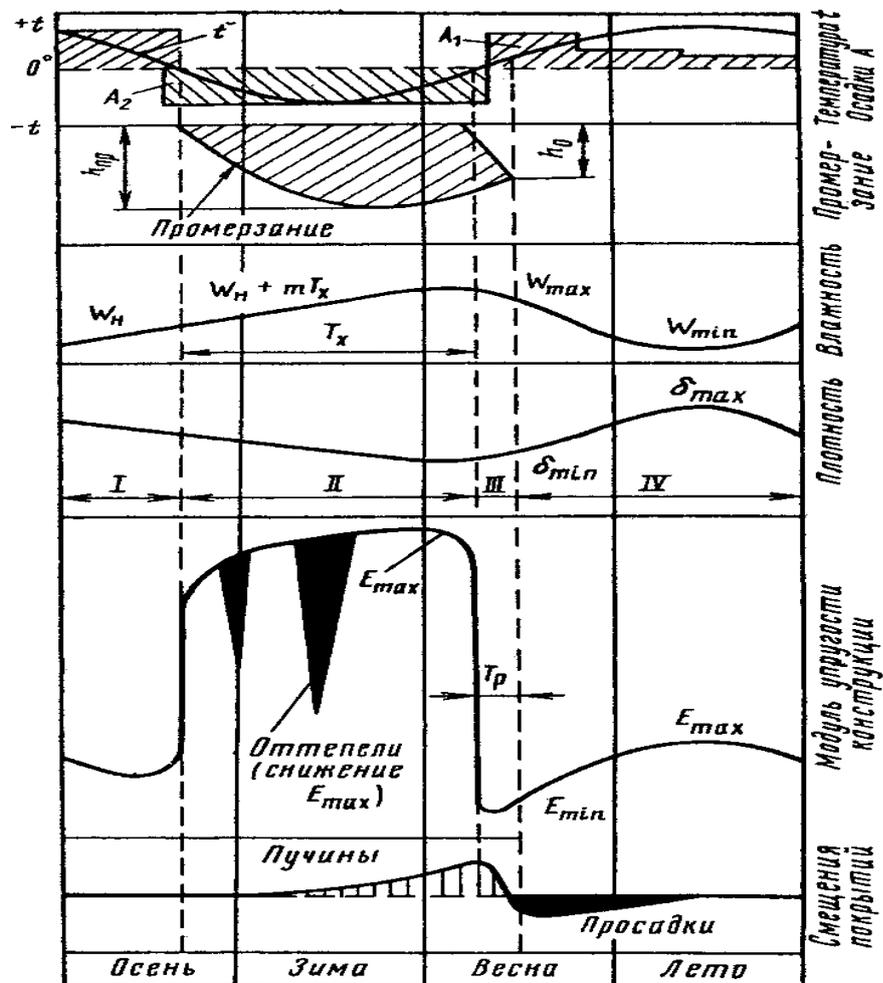


Рис. 15.1. Сезонное изменение показателей водно-теплового режима: I-IV – характерные состояния по сезонам года; T_x – холодный период; T_p – время распутицы

12. Метеорологические факторы при проектировании автомобильных дорог учитываются в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Они периодически обновляются, а поэтому и требования могут несколько изменяться.

При проектировании автомобильных дорог необходимо учитывать все происшедшие изменения и по вопросам использования метеорологических характеристик руководствоваться действующими нормативными документами.

16. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Земляные работы в зимний период должны проводиться в соответствии с п. 4.38 – 4.43 СНиП 3.06.03.85.

Возведение земляного полотна в районах вечной мерзлоты проводится в соответствии с п. 4.66 – 4.74 СНиП 3.06.03.85.

Устройство дополнительных слоев оснований и прослоек из бетонных смесей с легкими наполнителями, гористых каменных материалов, обработанных вяжущими, укрепленных грунтов и золо-шлаковых смесей с легкими заполнителями, приготовленных в смесителях принудительного перемешивания, производится при температуре смеси не ниже 5 °С.

Устройство оснований и покрытий из грунтов, укрепление их неорганическими вяжущими материалами следует осуществлять при температуре не ниже 5 °С. При более низких температурах работы производятся с учетом требований СНиП 3.06.03-86.

Влажность смеси грунтов с неорганическими вяжущими перед уплотнением должна соответствовать оптимальной, но в зависимости от погодных условий во время производства работ допускается не более чем на 2-3 % выше оптимальной при сухой погоде без осадков и

температуре воздуха выше 20 °С и на 1-2 % меньше оптимальной при температуре ниже 10 °С и наличии осадков. При температуре воздуха выше 20 °С для замедления процесса схватывания смеси и обеспечения оптимальных условий уплотнения в смесь вводятся добавки СДБ, ГЖ-136-41 или др.

Уплотнение смеси грунта с цементом до максимальной плотности должно быть закончено не позднее чем через 3 ч, а при пониженной температуре (ниже 10 °С) – не позднее чем через 6 часов после введения в смесь воды или раствора солей.

Основания и покрытия из грунтов, укрепленных органическими вяжущими материалами, разрешается устраивать в сухую погоду при температуре воздуха не ниже 10 °С.

Смешение грунтов с битумной эмульсией производится при температуре воздуха не ниже 5 °С.

Уплотнение грунтов, укрепленных органическими вяжущими совместно с цементом или известью, следует производить не позднее чем через 2 ч после окончания перемешивания. При температуре воздуха ниже 15 °С этот интервал может быть увеличен до 4 ч.

Уплотнение грунтов, укрепленных органическими вяжущими, должно заканчиваться в течение смены. Если в процессе уплотнения выпадали осадки и температура воздуха была ниже 15 °С, допускается повторное уплотнение смеси, но не позже чем через 2 суток – для грунта с добавкой цемента и 4 суток – для грунта с добавкой извести.

При отрицательных температурах воздуха укрепление грунтов неорганическими вяжущими материалами должно осуществляться с соблюдением мер их защиты от смерзания (введением противоморозных добавок).

При температуре воздуха ниже -10 °С приготовление цемента-грунтовых смесей может осуществляться только с использованием несвязных грунтов и без введения воды.

При температуре воздуха от 0 до -5 °С продолжительность работ по распределению, профилированию и уплотнению каменного материала (щебня, гравия, песчано-гравийной смеси) влажностью до 3 % не должна превышать 4 ч, а при более низких температурах – 2 ч.

Приготовленные для устройства оснований и покрытий смеси каменных материалов и неорганических вяжущих при температуре воздуха свыше 20 °С транспортируются в автомобилях-самосвалах, имеющих брезентовый чехол.

Основания (покрытия) из каменных материалов, обработанных неорганическими вяжущими, следует устраивать, как правило, в сухую погоду при среднесуточной температуре воздуха не ниже 5 °С.

Во время оттепелей, а также перед оттаиванием основание (покрытие), устроенное при отрицательной температуре, надо очищать от снега и льда и обеспечивать отвод воды.

Продолжительность транспортировки смеси каменных материалов с цементом, начало схватывания которого – не менее 2 ч, не должна превышать 30 мин при температуре воздуха во время укладки выше 20 °С и 50 мин – при температуре воздуха ниже 20 °С.

Приготовление и укладка каменных материалов, обработанных неорганическими вяжущими, при среднесуточной температуре воздуха в пределах от 5 до -15 °С должны осуществляться с принятием специальных мер: утепления основания, подогрева воды и заполнителя, введения в смесь водных растворов и хлористых солей.

При отрицательной температуре воздуха смеси каменных материалов и неорганических вяжущих приготавливают в смесителях. Температура на выходе из смесителя – 35-40 °С. В конце транспортировки она должна быть не менее 25 °С. Время транспортировки при этом не должно превышать 60 мин.

Покрытия и основания из горячей и холодной дегтебетонной смеси устраивают в сухую погоду при температуре воздуха не ниже 5 °С.

В осенний период работа по укладке холодных дегтебетонных смесей должны заканчиваться за 16-20 дней до наступления устойчивых отрицательных температур.

Черный щебень, приготовленный с дегтями Д-5 и Д-6, следует укладывать при температуре воздуха не ниже 0 °С.

Покрытия и основания из горячего и холодного черного щебня на битумах (БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130 и др.) можно устраивать при температуре воздуха не ниже 5 °С.

Слои из теплых органоминеральных смесей устраивают в сухую погоду при температуре воздуха до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. В отдельных случаях их устройство допускается при температуре воздуха до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при обязательном увеличении числа катков и интенсивности уплотнения.

Свежеприготовленный черный щебень и смеси, обработанные анионной эмульсией, следует укладывать при температуре воздуха не ниже $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, катионной – не ниже $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, обратной совместно с прямой или одной обратной – не ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Черный щебень и смеси из щебня укладывают при температуре воздуха не ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Устройство покрытия и основания из щебня, обработанного по способу пропитки битумом, дегтем или эмульсией, может осуществляться в сухую погоду при температуре воздуха не ниже $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. При использовании эмульсий при температуре воздуха ниже $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ их следует применять в теплом виде (с температурой $40-50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Основания и покрытия из щебеночных, гравийных и песчаных смесей, обработанных органическими вяжущими материалами смешением на дороге, следует устраивать при температуре воздуха не ниже $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и заканчивать за 15-20 суток до начала периода дождей или устойчивой температуры воздуха ниже $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Влажность щебеночных и гравийных смесей, обработанных эмульсией, в сухую и ветреную погоду при температуре воздуха выше $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ должна быть не менее 5 %, а песчано-щебеночных и песчано-гравийных смесей – на 1-2 % выше оптимальной.

Требуемая температура нагрева асфальтобетонных смесей в летний период составляет $150-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при температуре воздуха до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ повышается до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Асфальтобетонные смеси, приготовленные на основе полимерно-битумных вяжущих, относятся к теплым смесям и при $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ обладают меньшей жесткостью, а модуль упругости асфальтобетона в 6 раз меньше, чем у исходного битума.

Покрытия и основания из асфальтобетонных смесей следует устраивать в сухую погоду. Укладка горячих и холодных смесей производится весной и летом при температуре окружающего воздуха не ниже $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, осенью – не ниже $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; теплых смесей – при температуре не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Укладку холодных асфальтобетонных смесей следует заканчивать за 15-20 дней до начала периода осенних дождей, за исключением смесей с активированными минеральными порошками.

В исключительных случаях укладка черных горячих смесей и черного щебня может производиться при температуре воздуха до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а теплых – до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но в этом случае требуется большее количество проходов катка и более интенсивная укатка.

Допускается производить работы с использованием горячих асфальтобетонных смесей также при температуре воздуха не ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ при соблюдении следующих требований: толщина слоя – не менее 4 см; введение ПАВ и активированных порошков; укладка только нижнего слоя; укладка верхнего слоя на свежеложенный ($t > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) слой.

Длина полосы укладки горячей асфальтобетонной смеси одним асфальтоукладчиком в зависимости от температуры воздуха приведена в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Температура t , $^{\circ}\text{C}$	На защищенном от ветра участке	На открытом участке
5 – 10	30 – 40	25 – 30
10 – 15	40 – 60	30 – 50
15 – 20	60 – 80	50 – 70
20 – 25	80 – 100	70 – 80
более 25	100 – 150	80 – 100

При работе двумя асфальтоукладчиками она соответственно равна: 60-70 м; 70-80 м; 80-100 м; 100-150 м; 150-200 м.

Интенсивность остывания асфальтобетонной смеси зависит от ряда факторов. Время T , в течение которого смесь остынет от температуры в начале уплотнения ($t_{\text{нач}}$) до некоторой температуры t , определяется по формуле

$$T = \frac{\gamma \cdot c \cdot H \cdot k}{2 \cdot \alpha} \ln \frac{t_{\text{нач}} - t_{\text{в}}}{t_t - t_{\text{в}}}$$

где γ – объемная масса смеси, кг/см³;

c – удельная теплоемкость смеси, ккал/кг · град;

H – толщина слоя, см;

k – коэффициент, учитывающий температуру основания (при температуре основания ($t_{\text{осн}}$), равной температуре воздуха ($t_{\text{в}}$), $k = 1,0$; при $t_{\text{осн}} = 40 \dots 45$ °С

$k = 1,25$);

α – коэффициент теплоотдачи смеси, ккал/м² · 1 °С,

$$\alpha = 25 + 2 v,$$

где v – скорость ветра, м/с.

По некоторым другим данным α принимается равным:

v , м/с	1	2	4	6	8	10
α	13	20	22	25	38	33

Зависимость между H , v , $t_{\text{в}}$ и длительностью уплотнения асфальтобетонной смеси профессор Я.А. Калужский рекомендует принимать по следующей таблице (табл. 16.2).

Таблица 16.2

Влияние метеорологических факторов на технологию уплотнения асфальтобетонных смесей

Скорость ветра, м/с	Допустимая температура воздуха при толщине слоя, см				Скорость ветра, м/с	Допустимая температура воздуха при толщине слоя, см			
	3	4	5	6		3	4	5	6
Длительность уплотнения – 15 мин					Длительность уплотнения – 25 мин				
0	-20	-35	-35	-35	0	0	-10	-15	-35
3	-10	-28	-35	-35	3	+20	+8	-8	-18
Длительность уплотнения – 20 мин					Длительность уплотнения – 30 мин				
0	-5	-20	-25	-35	0	+3	-5	-10	-35
3	+10	-5	-20	-30	3	+30	+17	+4	-6
5	+23	+10	-2	-12	5	-	+30	+18	+10

Интенсивность остывания асфальтобетонной смеси в покрытии зависит не только от технологических свойств асфальтобетона, толщины слоя и степени уплотнения, но и от температуры воздуха и скорости ветра. В среднем она соответствует: для неуплотненной смеси – 5-6 °С/мин; для уплотненной – 1-15 °С /мин.

Работы по устройству поверхностной обработки покрытий выполняются при температуре воздуха не ниже 15 °С, а при использовании катионной эмульсии в качестве вяжущего – при температуре не ниже 5 °С.

При температуре воздуха ниже 20 °С применяются эмульсии с концентрацией битума 55-60 % и температурой 40-50 °С. При температуре воздуха выше 20 °С подогревать эмульсию не следует, а концентрация битума может быть снижена до 50 %.

При установившейся среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5 °С и минимальной суточной температуре воздуха ниже 0°С бетонировать покрытия и основания следует согласно СНиП III-15-76.

Продолжительность транспортирования бетонной смеси не должна превышать 30 мин при температуре воздуха от 20 до 30 °С и 60 мин – при температуре воздуха ниже 20 °С. При этом смесь надо защищать от воздействия атмосферных осадков и испарения влаги.

При температуре воздуха ниже 0 °С цемент не смерзается с минеральным материалом.

Марка бетона по морозостойкости для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий определяется по табл. 16.3.

Таблица 16.3

Среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца, °С	Морозостойкость бетона, не менее
от +10 до 0	50
от 0 до -10	100
от -10 до -20	150
ниже -20	200

Бетонные покрытия и основания при максимальной суточной температуре воздуха свыше 30 °С, перепаде температур воздуха за сутки более 12 °С и оптимальной влажности воздуха менее 50 % следует устраивать, как правило, в вечерние и ночные часы.

В жаркую солнечную погоду асфальтобетонное покрытие нагревается выше температуры окружающего воздуха и достигает в северных районах 50 °С, а на юге страны – 60-70 °С.

При устройстве двухслойных бетонных покрытий интервалы во времени между укладкой нижнего и верхнего слоев должны быть: при температуре воздуха 5-20 °С – не более 60 мин; при температуре от 20 до 25 °С – не более 45 мин; при температуре 25-30 °С – не более 30 мин.

Расстояния между температурными швами в верхних слоях основания из тощего бетона (в м), устраиваемыми по типу ложных швов сжатия или по типу рабочих швов, зависят от вида дорожной одежды и температуры воздуха при укладке тощего бетона.

17. УЧЕТ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

17.1. Общие положения

Скорость движения автомобилей (транспортного потока) зависит от метеорологических факторов, которые влияют на состояние проезжей части и восприятие водителем окружающей среды.

В ночное время суток, при туманах, ливнях, снегопадах и метелях скорость автомобилей уменьшается, так как ухудшается видимость на дороге; у водителя появляется неуверенность в правильности оценки дорожной ситуации.

Увлажнение покрытия, гололед или снежный покров уменьшают коэффициент сцепления и тем самым затрудняют маневренность участников дорожного движения, снижают их безопасность.

Отложение снега на проезжей части увеличивает сопротивление движению; сила тяги расходуется на его преодоление; увеличивается расход топлива; снижается скорость.

Наличие ветра также оказывает влияние на движение автомобилей: попутный ветер увеличивает скорость, встречный – уменьшает, боковой нарушает устойчивость движения, т.к. его составляющая «подталкивает» или «тормозит» транспортное средство.

Температура воздуха влияет на состояние дорожного покрытия, сцепление колес автомобиля с опорной поверхностью, температурный режим двигателя, психофизиологическое состояние водителя; все это отражается на скорости движения.

Со скоростью движения связаны и другие показатели работы транспорта – производительность, надежность, долговечность, безопасность, эффективность, продолжительность нахождения пассажиров и грузов в пути следования и т.п.

Режим торможения и длина тормозного пути автомобиля зависят не только от его технического состояния, но и от состояния проезжей части, которое формируется под воздействием метеорологических факторов. На влажной и скользкой проезжей части коэффициент сцепления колес с покрытием снижается до 0,08-0,10, тогда как на сухом шероховатом покрытии он равен 0,7-0,8 (т.е. в 8-10 раз).

Длина тормозного пути зависит, главным образом, от коэффициента сцепления и с его уменьшением при других равных условиях растет обратно пропорционально.

Состояние проезжей части также влияет на время разгона автомобиля, аквапланирование, выбор скорости движения на кривых, безопасность обгона и на другие сопутствующие режиму движения характеристики.

Видимость водителем поверхности дороги, встречных автомобилей, дорожных знаков, пешеходов, других участников движения обусловлена не только особенностями дорожного интерьера, но и метеорологическими факторами – наличием и интенсивностью осадков, уровнем освещенности объекта наблюдения, туманами, влажностью и степенью загрязнения воздуха (прозрачностью).

Все эти факторы действуют в природе в совокупности и обуславливают сложный характер дальности видимости. Поэтому при решении дорожно-эксплуатационных задач необходимо учитывать геометрические параметры рассматриваемого объекта, его освещенность, цвет и яркость предмета и фона, разрешающую способность глаз человека (остроту зрения) и другие особенности среды восприятия.

К сожалению, используемые в дорожной практике методы определения дальности видимости не всегда учитывают в полном объеме влияние метеорологических факторов и ограничиваются рассмотрением лишь геометрических структур.

Время реакции водителя связано с температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением, прозрачностью воздушной среды и другими метеорологическими факторами. Каждый человек по-своему адаптируется к быстро меняющимся погодным условиям; у него могут возникнуть определенные отклонения в восприятии дороги, реакции на внезапное изменение дорожной обстановки. Адаптационный период характеризуется непостоянством времени реакции водителя.

Пропускная способность дороги, т.е. количество автомобилей, которое она может пропускать в единицу времени с определенным уровнем удобства, зависит от обеспеченной скорости движения и некоторых других перечисленных выше критериев. В то же время отложения снега, засорение части покрытия наносами и размывы обочин влияют на геометрию дороги и, в свою очередь, сказываются на ее пропускной способности.

Содержание автомобильных дорог как в технологическом, так и в организационном плане всецело зависит от погодно-климатических условий. В дождливую погоду требуется усиливать внимание к пропуску воды по дорожным канавам и через отверстия искусственных сооружений, следить за состоянием открытых поверхностей обочин и откосов, ликвидировать застои воды в полосе отвода. В период снегопада появляется необходимость очистки проезжей части от снега, в период гололедицы – борьбы со скользкостью. При высоком уровне солнечной радиации часто появляются дополнительные работы по конгломерации выступающего на поверхность битума. В период промерзания дорожной конструкции создаются предпосылки для обеспечения его равномерности, при остывании – для своевременного и полного отвода грунтовых вод. В сухую, жаркую погоду летом требуется полив водой усовершенствованных дорожных покрытий, необходимо вести борьбу с пылеобразованием на грунтовых, гравийных и других дорогах, не обладающих связностью поверхностного слоя.

Существенное влияние на выбор системы эксплуатации дорог оказывает температурный режим в течение года. Колебание температуры влияет на условия просыхания дорог, в особенности грунтовых, и на их пылимость.

Погодно-климатические факторы определяют время и интенсивность работ по посадке зеленых насаждений, посеву трав, уходу за деревьями и кустарником, которые имеют снегозадерживающее, рекреационное и декоративное назначение.

Зимнее содержание автомобильных дорог зависит от продолжительности зимнего периода, интенсивности снегопадов, высоты снежного покрова, особенностей метелевого режима, направления преобладающих ветров, объема снегопереноса, температуры воздуха и других метеорологических характеристик.

По условиям снегоборьбы на дорогах территория Республики Беларусь разделяется на 4 района. Нормы расхода хлоридов для борьбы с зимней скользкостью зависят от температуры воздуха. Так, при температуре воздуха $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 1 мм гололеда требуется 40 г/м^2 хлористого натрия или $0,13\text{ л/м}^2$ хлористо-натриевого рассола, при температуре $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – соответственно 100 г/м^2 и $0,48\text{ л/м}^2$.

Рассолы допускается применять при температуре до $-11\dots-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зависимости от их концентрации и величины расхода.

Организация зимнего содержания дорог зависит от установления и схода устойчивого снежного покрова, числа дней без оттепелей, режима метелей. Эти климатические факторы влияют на промерзание и оттаивание дорожного полотна, образование пучин, снегозаносимость дороги, высоту и длительность паводка на реках.

Водно-тепловой режим земляного полотна протекает под воздействием различных температур воздуха и зависит от свойств грунта, дорожной одежды, уровня грунтовых вод и других факторов. Средняя скорость промерзания грунта – $3\text{--}6\text{ см/сут}$. Средняя скорость оттаивания грунта: сверху – 4 см/сут ; снизу – $0,6\text{--}0,7\text{ см/сут}$.

Глубина промерзания зависит от устойчивости и величины температуры в первую половину зимы, толщины снежного покрова, времени его образования и свойств грунта. Под дорогой глубина промерзания больше, чем в поле, где поверхность земли покрыта слоем снега. При соответствующих грунтах и водном режиме полотна дороги образование пучин связано с глубиной промерзания.

При понижении температуры воздуха и переходе ее среднесуточного значения через $+3\text{--}+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит смена направления теплового потока. При этом начинается миграция и накопление влаги в грунте. Температурный градиент в мерзлом грунте в самую холодную зиму не превышает 10, а в талых грунтах – $4\text{ }^{\circ}\text{C/м}$.

На режим влажности грунта земляного полотна оказывают влияние влажность воздуха и интенсивность испарения, которые в данной местности определяются температурой и количеством осадков, но при этом существенное значение имеют и местные факторы – рельеф, растительность, экспозиция поверхности по отношению к солнцу.

При повышении относительной влажности испарение влаги с поверхности затрудняется, поскольку его интенсивность пропорциональна дефициту влаги. Особенно неблагоприятным периодом для испарения, а следовательно, и для просыхания грунта, является осень, когда при сравнительно низких температурах наблюдается высокая относительная влажность воздуха.

Водно-тепловой режим земляного полотна и, в частности, глубина промерзания грунтов, закономерности их оттаивания и просыхания определяют характер планируемых противопучинных мероприятий, организацию и технологию работ по содержанию дорог.

Текущий ремонт автомобильных дорог начинается сразу после схода снега.

Однако выполнение различного вида работ требует дифференцированного подхода. Так, устранение ям, выбоин и трещин на асфальтобетонных покрытиях успешно может осуществляться при температуре воздуха более $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при высохшем покрытии; ликвидация дренажных воронок и ровиков, устранение повреждений земляного полотна, размыв водоотводных каналов, планировка обочин – при соответствующем высыхании грунта.

Периодичность осмотра металлических мостов зависит от температуры воздуха: при положительной температуре – 1 раз в полугодие; при отрицательных температурах до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 1 раз в месяц; при температуре ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – ежедневно.

Ремонт покрытий с применением горячих и холодных асфальтобетонных смесей производится в сухое и теплое время года при температуре воздуха не ниже $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Трещины на покрытиях заделывают в сухую и теплую погоду при температуре воздуха не ниже 5 °С, когда они наиболее раскрыты.

Работы при поверхностной гидрофобизации производятся в сухую погоду при температуре воздуха не ниже 5 °С. Во время дождя они должны быть прекращены, а обработанные участки защищены от увлажнения водонепроницаемыми материалами. Работы продолжаются после просыхания поверхности покрытия.

Проверка качества гидрофобизации производится после формирования гидрофобной пленки (при температуре воздуха до 10 °С – не ранее чем через 6 суток) путем смачивания покрытия водой.

Ремонт цементобетонных покрытий производится с учетом температуры воздуха. При температуре 5-0 °С в осенний и весенний периоды рекомендуется применять быстротвердеющие бетоны; они обеспечивают ускоренное формирование и при температуре 20-25 °С.

Движение по бетонному покрытию при температуре 15-25 °С открывают через 5-7 суток после окончания работ, когда его прочность достигает не менее 70 % требуемой.

Существенную роль в эксплуатации автомобильных дорог играет экспозиция склонов земной поверхности и расположенных на них дорожных сооружений относительно солнца: южные склоны получают большее число часов солнечного прогрева, чем северные, и поэтому быстрее освобождаются от снега, т.к. почва здесь больше прогревается и скорее просыхает.

Циклическое протекание оползневых процессов, усложняющих эксплуатацию дорог, согласуется с закономерностями изменения погодных-климатических условий. При длительных, обильных дождях грунт переувлажняется, уменьшаются его сцепные качества и нарушается равновесие между удерживающими и сдвигающими силами.

Размывы, оплывание и другие деформации откосов земляного полотна всецело зависят от количества выпадающих осадков.

Для принятия правильных мер при меняющихся погодных-климатических условиях водители, службы содержания дорог и организации движения должны руководствоваться оперативной информацией, которая предоставляется системой информационного обеспечения (рис. 17.1).

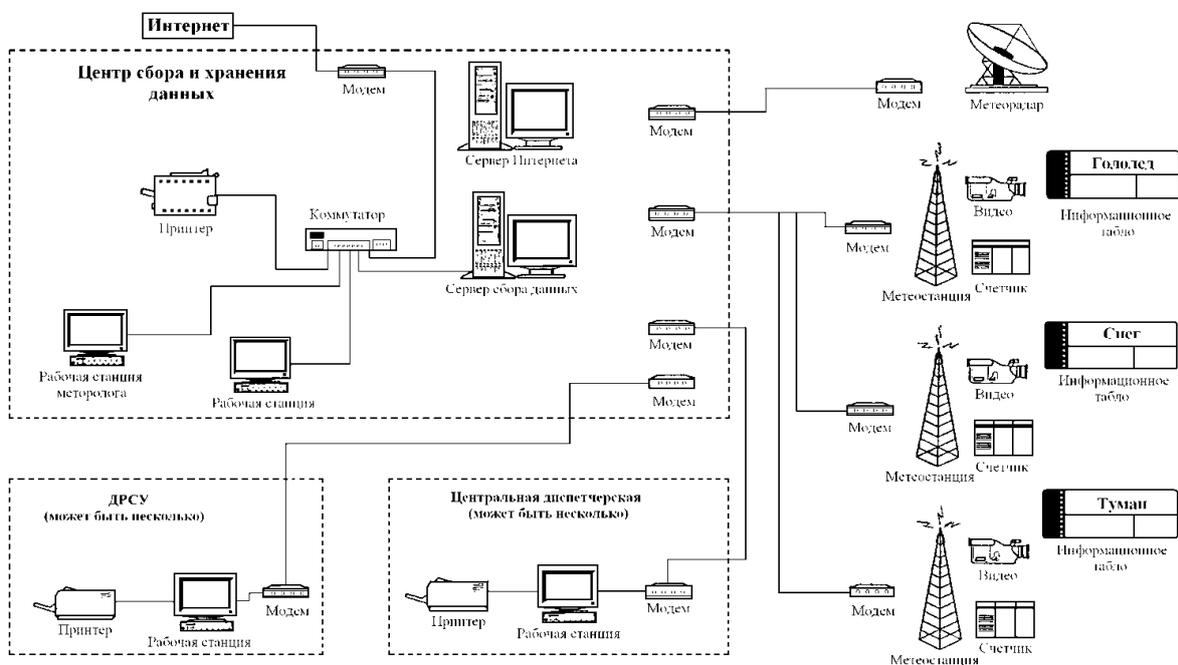


Рис. 17.1. Структурная схема системы информационного обеспечения автодорог

17.2. Прогнозирование пучинообразования на автомобильных дорогах

В земляном полотне автомобильных дорог протекают сложные водно-тепловые процессы, в результате которых в различных точках грунтового массива меняется количество влаги, состояние воды, а вместе с тем – прочность и несущая способность дороги. Одним из наиболее ощутимых проявлений водно-тепловых процессов можно считать *пучины* (рис. 17.2), возникающие вследствие промерзания грунта и миграции влаги из нижних слоев в зону активного охлаждения. На интенсивность пучинообразования влияет быстрота охлаждения активного слоя и поступления в почву влаги.

При небольших морозах грунты промерзают медленно, имеется достаточно времени для подтока воды, поэтому интенсивно идет образование ледяных линз. При сильных морозах, наоборот, происходит быстрое промерзание грунта; вода не успевает перераспределиться, и поэтому ледяные линзы не образуются.

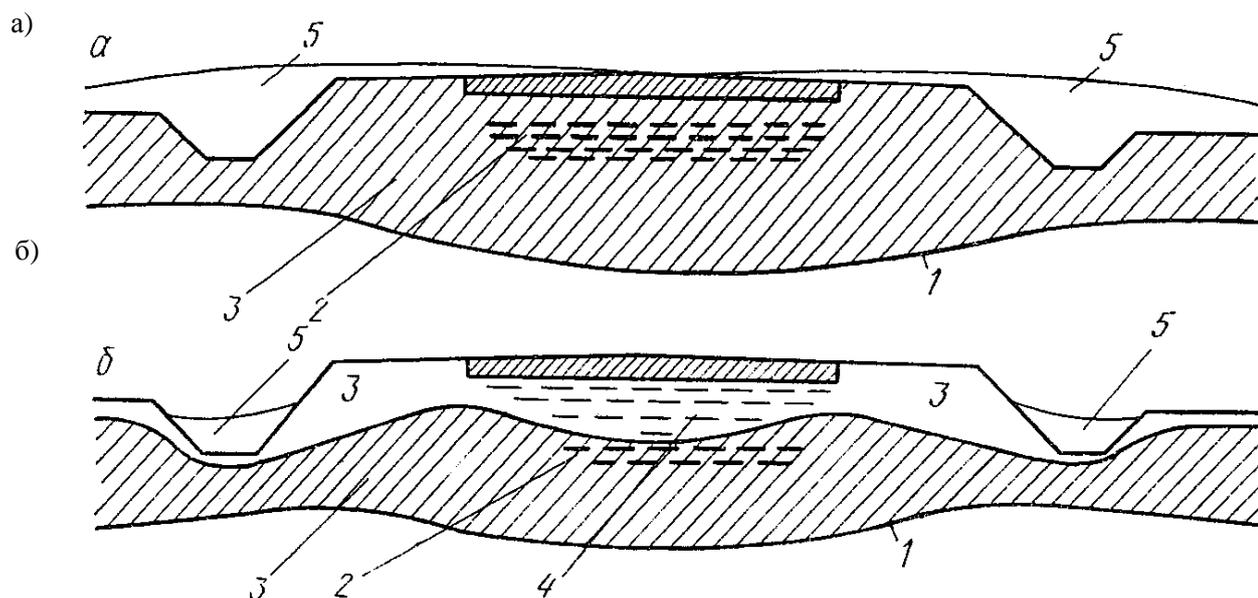


Рис. 17.2. Образование донника:

*а – промерзание грунта под проезжей частью; б – оттаивание грунта весной;
1 – граница промерзания; 2 – ледяные линзы; 3 – мерзлый грунт;
4 – оттаявший сильно переувлажненный грунт; 5 – снег*

Большое влияние на миграцию влаги в зону отрицательных температур оказывают тип грунта и степень его уплотнения. Песчаные грунты обладают малой поверхностной энергией и промерзают без образования ледяных линз. Пылеватые грунты обладают значительной поверхностной энергией и небольшим сопротивлением подъему воды в порах, вследствие чего в этих грунтах происходит интенсивное вертикальное перемещение воды, а при замерзании образуются ледяные линзы. Глинистые грунты обладают огромной поверхностной энергией и большим сопротивлением перемещению воды в порах. Однако скорость перемещения воды в таких грунтах небольшая; при отрицательных температурах они не успевают промерзнуть быстрее, чем вода поднимется в активную зону.

Важную роль в процессе пучинообразования также играют гидротехнические условия. Проф. Н.А. Пузаков выделяет три расчетные схемы пучинообразования по величине и характеру источника увлажнения:

- 1) для сухой местности с обеспеченным стоком поверхностных вод;
- 2) для районов с достаточным количеством осадков или мест, где затруднен сток поверхностных вод;
- 3) для мест, где имеется постоянный источник увлажнения, т.е. близок уровень грунтовых вод, длительно стоит вода в каналах или резервах и т.д.

К каждой расчетной схеме проф. Н.А. Пузаков предлагает формулы для контроля водно-теплового режима земляного полотна:

1-я схема

$$h_1 = 3,08 k_2 \frac{w_0 - w_1}{\sqrt{a_0}} \sqrt{T} ; \quad (17.1)$$

2-я схема

$$h_2 = 1,26 (w_{ос} - w_0) \sqrt{k_{кап} T} ; \quad (17.2)$$

3-я схема

$$h_3 = \frac{2,2 k_{кап}}{a_0} (w_{кап} - w_0) \left(2,31 h g \frac{h}{h - z} - z \right) , \quad (17.3)$$

где w_0 – максимальная молекулярная влажность грунта, доли единицы;
 w_1 – влага в грунте, не способная к передвижению, доли единицы;
 $w_{кап}$ – капиллярная влагоемкость грунта, доли единицы;
 $w_{ос}$ – начальная осенняя влажность грунта, доли единицы;
 k_2 – средний коэффициент влагопроводимости, см²/сут;
 $k_{кап}$ – коэффициент капиллярной влагопроводимости, см²/сут;
 a_0 – параметр, зависящий от физических свойств грунта и климатических особенностей района, см²/сут,

$$a_0 = \frac{z^2}{2T} ; \quad (17.4)$$

h – глубина залегания грунтовых вод от поверхности дороги, см;

T – продолжительность промерзания грунта, сут;

z – наибольшая глубина промерзания, см.

Как видно из формул (17.1) – (17.3), пучение грунта также зависит от особенностей климата данной местности. Исходя из климатических условий, территорию Беларуси по этому признаку целесообразно разделить на 4 зоны (рис. 17.3) – северо-восточную, центральную, северо-западную и юго-западную.

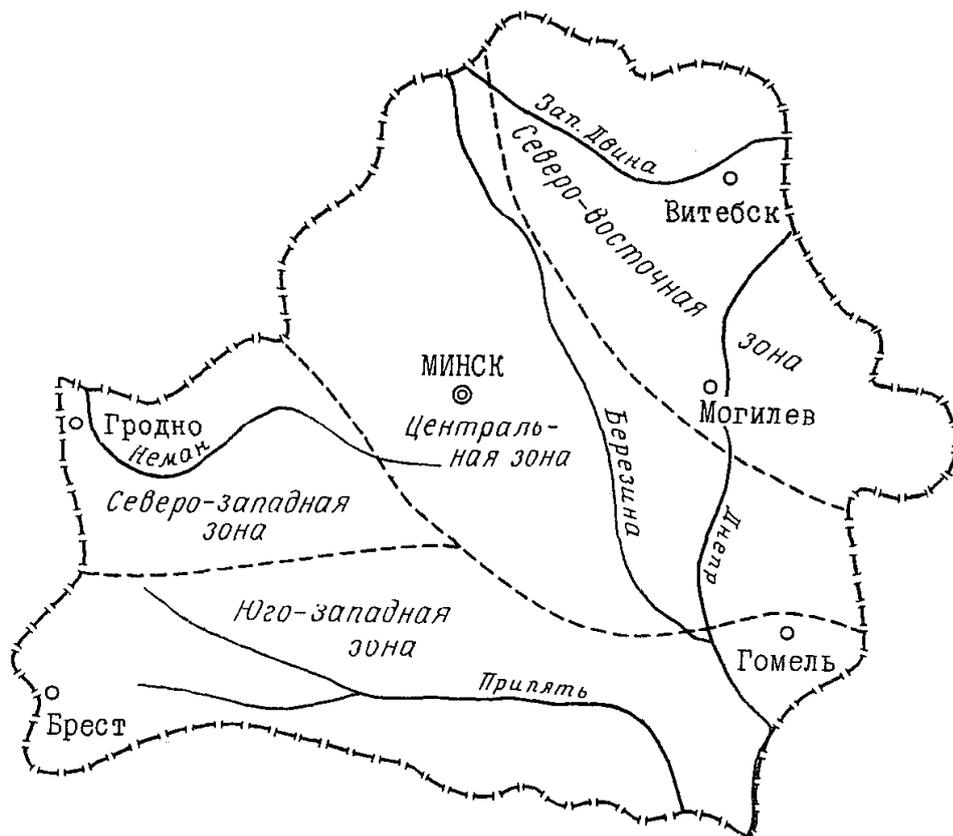


Рис. 17.3. Схематическая карта районирования Беларуси

Северо-восточная зона. Продолжительность зимы – около 120 дней. Устойчивый снежный покров образуется каждую зиму и залегает в среднем 100-120 дней. Оттепелей бывает сравнительно мало. Промерзание грунта начинается в конце октября – начале ноября, а оттаивание – в конце марта – начале апреля. Средняя многолетняя отрицательная температура воздуха колеблется от -7 до -8 °С. Осадков выпадает около 600 мм.

Центральная зона. Продолжительность зимы – около 100 дней. Устойчивый снежный покров лежит 80-100 дней. Промерзание грунта начинается в начале ноября, а оттаивание – в начале апреля. Средняя многолетняя отрицательная температура воздуха – от -6 до -8 °С. Осадков выпадает около 650 мм.

Северо-западная зона. Продолжительность зимы – около 80 дней со значительным числом оттепелей и большим количеством осадков – около 700 мм. Средняя отрицательная температура воздуха находится в пределах от -5 до -6 °С.

Юго-западная зона характеризуется большим числом оттепелей; раз в десять лет снежный покров почти не устанавливается; продолжительность зимы – около 60 дней. Средняя отрицательная температура воздуха – около $-4,5$ °С. Осадков выпадает примерно 500 мм.

Анализируя формулу (17.3), нетрудно заметить, что пучение зависит, главным образом, от уровня грунтовых вод и глубины промерзания грунта. Уровень грунтовых вод для условий определенной местности можно считать постоянным. Глубина же промерзания грунта колеблется в значительных пределах и зависит от климатических условий, т.е. является величиной непостоянной.

В табл. 17.1 показана зависимость процесса пучения грунта от уровня грунтовых вод и глубины его промерзания.

**Зависимость процесса пучения от уровня грунтовых вод
и глубины промерзания**

Тип грунта	w ₀ , %	w ₁ , %	w _k , %	w _{ос} , %	k ₂ , см ² /сут	k _{кап} , см ² /сут
Глинистый	33	21	47	50	1,2	17
Суглинистый	25	12	34	40	1,1	10
Супесчаный	20	9	39	30	1,7	7
Мелкий песок	14	4	20	22	1,6	6,6

На основании формул (17.1) – (17.3) и данных табл.17.1 для каждой из климатических зон Беларуси были вычислены пучения. Результаты вычислений приведены в табл. 17.2, из которой видно, что пучинообразование наиболее ярко выражено на дорогах, расположенных в районах, отнесенных к 3-й схеме по увлажнению. Именно эти участки должны быть положены в основу расчета пучиностойкости автомобильных дорог.

Таблица 17.2

Величины пучения, см

Тип грунта	Расчетная схема												
	1-я	2-я	3-я – при уровне залегания грунтовых вод, см										
			80	100	120	140	160	180	200	220	240	280	300
Северо-восточная зона (T = 120; z = 127 см; α ₀ = 62 см ² /сут)													
Глинистый	0,60	9,7	-	-	-	16,1	9,9	7,3	5,9	5,5	4,1	3,1	2,9
Суглинистый	0,60	6,5	-	-	-	6,2	3,8	2,8	2,2	2,1	1,6	1,2	1,1
Супесчаный	0,78	3,7	-	-	-	9,0	5,6	4,1	3,3	3,1	2,3	1,8	1,6
Мелкий песок	0,66	2,8	-	-	-	2,7	1,6	1,2	0,97	0,92	0,69	0,52	0,48
Центральная зона (T = 100; z = 107 см; α ₀ = 56 см ² /сут)													
Глинистый	0,59	8,9	-	-	15,0	9,0	-6,8	5,2	4,3	3,8	3,3	2,6	2,3
Суглинистый	0,59	6,0	-	-	5,7	3,4	2,6	1,9	1,6	1,4	1,2	0,99	0,88
Супесчаный	0,77	3,3	-	-	8,4	5,0	3,8	2,9	2,4	2,1	1,8	1,5	1,3
Мелкий песок	0,66	2,6	-	-	2,5	1,5	1,1	0,85	0,71	0,62	0,55	0,44	0,39
Северо-западная зона (T = 80; z = 82 см; α ₀ = 42 см ² /сут)													
Глинистый	0,61	7,9	-	11,1	7,0	5,0	4,0	3,4	3,0	2,5	-2,2	1,9	1,9
Суглинистый	0,61	5,4	-	4,2	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	0,95	0,85	0,71	0,7
Супесчаный	0,79	3,0	-	6,2	3,9	2,9	2,2	1,9	1,7	1,4	1,25	1,1	1,1
Мелкий песок	0,68	2,3	-	1,8	1,2	0,85	0,66	0,56	0,51	0,41	0,37	0,31	0,30
Юго-западная зона (T = 80; z = 68 см; α ₀ = 39 см ² /сут)													
Глинистый	0,55	6,9	12,0	6,2	5,0	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,7	1,3	1,2
Суглинистый	0,55	4,6	4,5	2,3	1,9	1,2	1,0	0,86	0,74	0,66	0,64	0,48	0,43
Супесчаный	0,72	2,6	6,7	3,5	2,8	1,8	1,5	1,3	1,1	0,97	0,94	0,71	0,64
Мелкий песок	0,61	2,0	2,0	1,0	0,83	0,54	0,45	0,38	0,32	0,29	0,28	0,22	0,19

Для определения глубины промерзания можно применять статистический метод: определить вероятность появления глубины промерзания заданной обеспеченности и на основании этого решить вопрос о вероятности появления пучин заданной величины.

Для определения глубины промерзания грунтов составлена карта средних многолетних глубин промерзания грунтов на территории Беларуси (рис. 17.4) и карта коэффициента вариации (рис. 17.5).

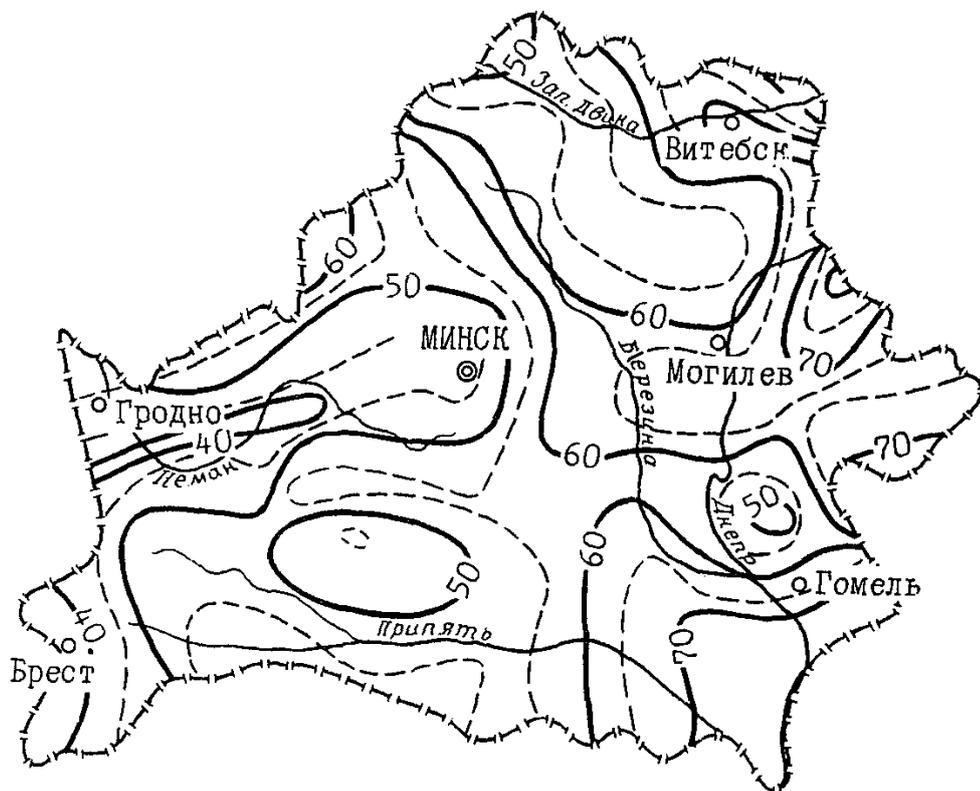


Рис. 17.4. Карта изолиний средних максимальных глубин промерзания

По первой карте для заданного района находят среднюю многолетнюю глубину промерзания грунта $z_{\text{ср}}$, по второй – коэффициент вариации C_V . По C_V и заданному проценту обеспеченности (вероятности) определяют модульный коэффициент k_s (табл. 17.3).

Глубина промерзания грунта заданной обеспеченности

$$z = k_s z_{\text{ср}}. \quad (17.5)$$

Глубина промерзания грунта земляного полотна

$$z = k_{\text{пер}} k_s z_{\text{ср}}, \quad (17.6)$$

где $k_{\text{пер}}$ – переходный коэффициент от грунтов открытого поля к грунтам земляного полотна, учитывающий теплофизические свойства грунта, снежный покров и т.д.

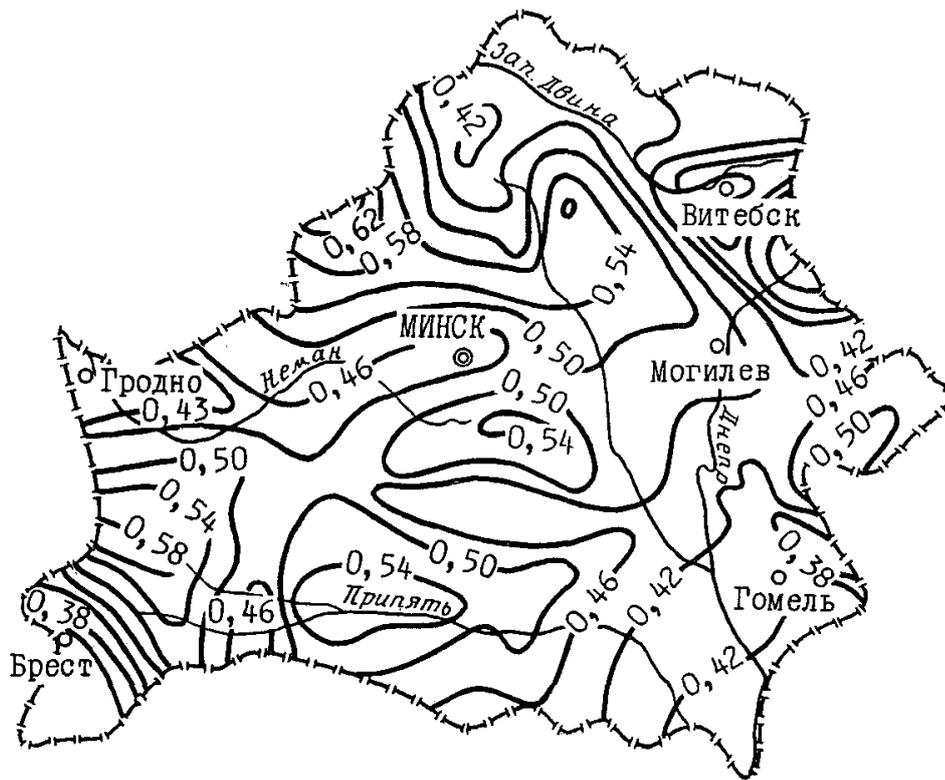


Рис. 17.5. Карта изолиний коэффициента вариации

Таблица 17.3

Коэффициент k_s

Коэффициент вариации	Вероятность					
	1 : 100	1 : 33	1 : 20	1 : 10	1 : 5	1 : 4
0,25	1,674	1,522	1,445	1,332	1,202	1,154
0,30	1,825	1,636	1,540	1,399	1,240	1,183
0,35	1,990	1,754	1,638	1,468	1,276	1,208
0,40	2,156	1,872	1,736	1,536	1,312	1,232
0,45	2,334	1,999	1,837	1,603	1,345	1,254
0,50	2,511	2,126	1,938	1,670	1,378	1,277
0,55	2,700	2,256	2,042	1,737	1,408	1,294
0,60	2,890	2,386	2,146	1,804	1,438	1,312
0,65	3,090	2,522	2,252	1,871	1,468	1,328
0,70	3,289	2,659	2,358	1,939	1,497	1,343

Глубину промерзания можно определять по заданной величине морозного пучения (рис. 17.6).

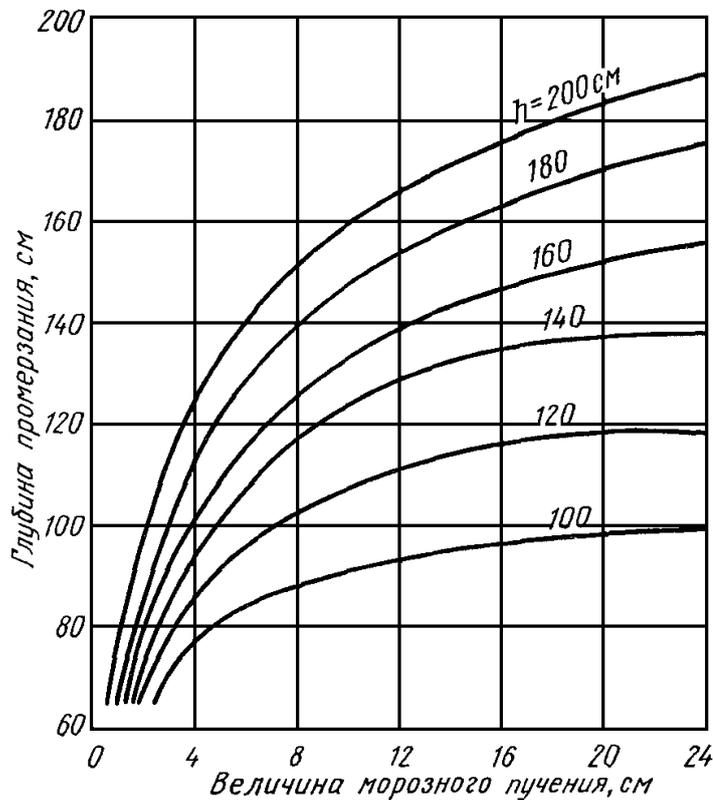


Рис. 17.6. График определения глубины промерзания по заданной величине морозного пучения

Прогнозирование вероятности появления пучин производится в следующем порядке:

- 1) принимают величину пучения для заданного участка дороги (допускаемую, контрольную или любую другую искомую);
- 2) по формуле (17.5) или по графику (рис. 17.6) подбором вычисляют глубину промерзания, при которой это пучение может быть;
- 3) с учетом глубины промерзания z_0 и принимая по карте (рис. 17.3) z_{cp} , определяют модульный коэффициент

$$k_s = \frac{z_0}{k_{пер} z_{cp}} ; \quad (17.7)$$

- 4) имея модульный коэффициент k_s и учитывая коэффициент вариации C_v для данного района (см. рис. 17.5), по табл. 17.3 находят вероятность появления пучины заданной величины.

Пример. Следует определить вероятность появления пучин величиной 5 см на дороге М1/Е-30 в районе г. Столбцы. Известно, что грунт земляного полотна – супесчаный; глубина залегания грунтовых вод – 1,0 м; по степени увлажнения участок местности относится к 3-й расчетной схеме.

Для заданного района имеем: продолжительность зимы $T = 80$ сут; средняя глубина промерзания $z_{cp} = 45$ см; коэффициент вариации $C_v = 0,45$; коэффициент перехода $k_{пер} = 1$. Влажностные свойства грунтов определяются лабораторным способом. В данном примере примем средние значения (табл. 17.1): $w_0 = 20\%$; $w_{кап} = 39\%$; $k_{кап} = 7 \text{ см}^2/\text{сут}$.

По графику, построенному на основании формулы (17.5), определим глубину промерзания грунта, которая вызывает пучение величиной 5 см; $z_0 = 83$ см.

По формуле (17.6) находим модульный коэффициент

$$k_s = \frac{83}{45} = 1,840$$

Имея модульный коэффициент $k_s = 1,840$ и учитывая, что для рассматриваемого района коэффициент вариации $C_v = 0,45$, по табл. 17.3 находим, что вероятность появления пучения, равного 5 см, составляет 1: 20, т.е. 1 раз в 20 лет.

При определении пучинообразования 3-я расчетная схема является решающей, поэтому участки дорог, имеющие признаки, характерные для 3-й расчетной схемы, должны быть в центре внимания эксплуатационников.

Глубина промерзания грунтов является величиной непостоянной. Для ее расчета необходимо использовать статистический метод и карты изолиний.

На метеорологических станциях температура почвы, ход промерзания грунта и его максимальное значение определяются с помощью вытяжных термометров (рис. 17.7), которые устанавливаются на линии восток-запад на расстоянии 50 см друг от друга на открытой площадке с натуральным травяным покровом. Наблюдения за температурой на глубине 60, 80, 120, 160, 240, 320 см производятся на протяжении всего года 1 раз в сутки, днем, а на глубине 20 и 40 см – во все сроки наблюдений.

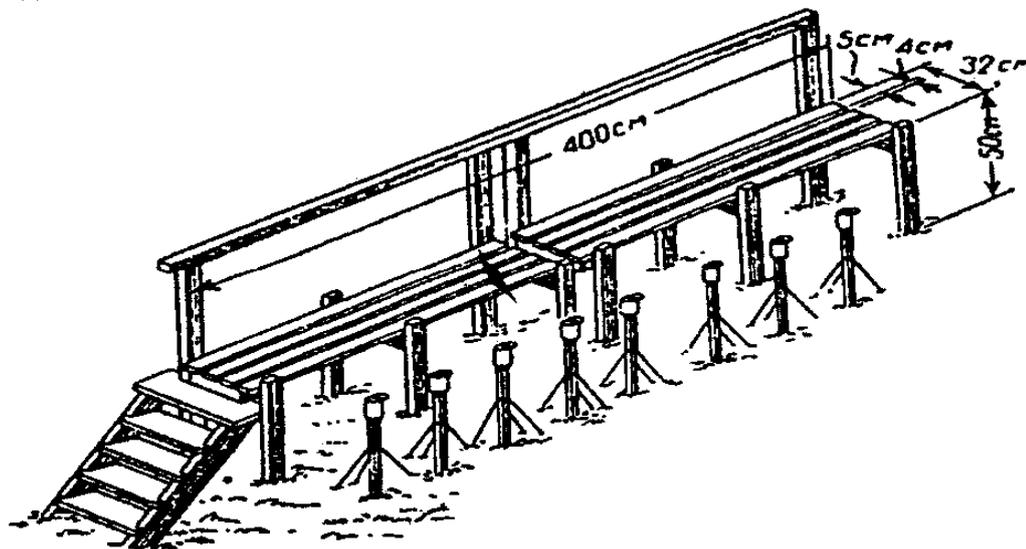


Рис. 17.7. Установка почвенных вытяжных термометров

17.3. Учет погодно-климатических факторов при зимнем содержании автомобильных дорог (на примере ДРСУ – 165)*

Эксплуатация автомобильных дорог требует учета местных и временных особенностей. Для условий Республики Беларусь и других государств, расположенных в северных широтах, особо важное значение имеет эксплуатация дорог в зимний период времени. Снежные заносы, скользкость проезжей части, промерзание дорожной одежды и земляного полотна, изменение режима водотоков часто нарушают возможность функционирования дороги, создают известные трудности для движения автомобильного транспорта. Анализ показывает, что в зимний период производительность транспортных машин ниже, чем в летний, снижается скорость движения автомобилей, а частота дорожно-транспортных происшествий возрастает.

Важнейшими факторами, затрудняющими движение автомобилей и повышающими опасность на автомобильных дорогах в зимний период, являются снежные отложения и скользкость. Изучением природы отложения снега в пределах дорожной полосы и возникновения зимней скользкости занимались различные научные центры, дорожно-эксплуатационные

организации, отдельные ученые и специалисты. Результаты исследований описаны во многих монографиях, учебных и периодических изданиях. По вопросам зимнего содержания автомобильных дорог выпущено немало нормативных документов, методических рекомендаций и справочных изданий; тем не менее, эту проблему нельзя признать решенной как в теоретическом, так и в практическом отношении.

В первую очередь, очевидно, что нормативные и методические рекомендации базируются на средних условиях эксплуатации автомобильных дорог, и поэтому не всегда позволяют учесть особенности конкретной местности, определенного участка дороги. С другой стороны, существующие методы планирования и организации работ по зимнему содержанию дорог недостаточно полно учитывают погодно-климатические факторы, что приводит к затруднениям в прогнозировании метелевого режима и скользкости на дороге, а следовательно, и оптимизации материальных и трудовых затрат.

Исследования должны быть направлены на обоснование учета погодно-климатических факторов, особенностей ландшафта местности, углубление теоретической базы, необходимой для организации зимнего содержания автомобильных дорог. При проведении дорожных работ следует учитывать, что в условиях Республики Беларусь зима неустойчива. Характерны частые переходы изотермы через 0 °С, осадки в виде мокрого снега и измороси, повышенная влажность воздуха, большая облачность, густые туманы и другие метеорологические показатели, отрицательно влияющие на эксплуатационное состояние дороги и условия дорожного движения. Эти условия приводят к возникновению снежных заносов и гололедицы. Для борьбы с ними дорожные организации вынуждены держать и использовать значительный парк специализированных машин, заготавливать и рассыпать тысячи тонн песко-солевых смесей, организовать круглосуточное дежурство дорожных бригад и в целом нести значительные затраты. Уменьшение затрат, снижение расхода песко-солевых смесей, которые, как известно, отрицательно сказываются на окружающей среде, – важная технико-экономическая задача. Решением этой задачи занято ДРСУ-165 ПРСО Минскоблдорстроя.

В настоящее время ДРСУ-165 обеспечивает эксплуатацию 651 км автомобильных дорог общего пользования, из которых 622,7 км (95,6 %) имеют твердое покрытие. Из республиканских дорог 15 % (127,3 км) относятся к III категории и 85 % – к IV. Местные дороги имеют протяженность 523,7 км (49 % дорог IV категории и 51% – V). Все дороги республиканского значения имеют асфальтобетонное покрытие, местного – цементобетонное (10,8%) и асфальтобетонное (41,5 %), мостовое (0,9 %) и гравийное (46,9 %).

Для выполнения дорожных работ и для зимнего содержания дорог имеется определенное количество машин (автогрейдеры, бульдозеры, погрузчики, экскаваторы, пескоразбрасыватели и др.). По нормативам, рекомендуемым для зимнего содержания дорог профессором А.П. Васильевым, налицо значительный дефицит современных дорожных машин. Тем не менее, предпринимаются все меры, чтобы эксплуатация автомобильных дорог в зимнее время отвечала требованиям, предъявляемым к транзитному и местному транспорту в Логойском районе.

Особое внимание уделяется инженерной подготовке к зимнему содержанию автомобильных дорог. Анализируется структура дорожной сети, значение различных дорог в обеспечении транспортных коммуникаций, а также роль погодно-климатических факторов, характерных для ландшафтно-географических условий района и установленных практикой предыдущих лет. В план подготовки к зиме включается вся имеющаяся техника для зимнего содержания автомобильных дорог, временный снегозащитный инвентарь, а также людские ресурсы, участвующие в выполнении работ по расчистке дорог от снежных заносов и борьбе с зимней скользкостью. В плане организации работ обозначаются дороги и участки, которые требуют защиты и очистки в первую очередь, и дороги, которые обслуживаются во вторую очередь. ДРСУ-165 имеет около 30 единиц техники (автогрейдеры, бульдозеры, погрузчики, пескоразбрасыватели и др.), которые закрепляются за мастерскими, участками и используются по мере необходимости для расчистки и посыпки автомобильных дорог.

Для Логойского района характерна высокая степень лесистости (около 33 %). Вдоль автомобильных дорог располагается значительное количество лесных массивов, которые являются естественной защитой дорог от снежных заносов. Тем не менее, свыше 90 км дорог, в том числе около 30 км республиканских и 63 км местных, относятся к снегозаносимым.

Заносимые участки варьируются в значительных пределах. В среднем их протяженность составляет 600-1000 м.

Защита снегозаносимых участков автомобильных дорог обеспечивается снегозащитными насаждениями, щитами и др. На дорогах республиканского значения снегозащитных насаждений – 15,9 км (6,4 га), на местных – 14,9 км (5,7 га). Щиты устанавливаются с одной (навстрелной) стороны или с двух сторон в местах, где отсутствуют насаждения, а конструкция дороги относится к снегозаносимой. В ДРСУ-165 имеется достаточное количество щитов и кольев, которые используются как на республиканских, так и на местных автодорогах. Щиты позволяют частично решать проблему защиты дорог от снежных заносов, однако эффективность их применения невысока из-за быстрого выхода из строя, значительных затрат на восстановление, установку и хранение. Более эффективна защита дорог с помощью снегозащитных насаждений в виде узких лесных полос и живых изгородей. К сожалению, в плане работы ДРСУ предусматриваются недостаточные средства на развитие системы защиты дорог с помощью снегозащитных насаждений, поэтому практически идет восстановление насаждений, выбывших по причинам пожаров, вредителей и других факторов. Ежегодно восстанавливаются и создаются новые насаждения протяженностью около 2 км.

Исключительно важным для зимнего содержания автомобильных дорог является обеспечение необходимого сцепления колес автомобилей с дорогой. Зимой в районе имеют место до 60-70 переходов температуры через 0 °С. Частые мокрые снегопады и нерегулярная очистка проезжей части от снега приводят к возникновению скользкости, которая пагубно сказывается на безопасности дорожного движения, ухудшает условия эксплуатации дорог, приводит к возникновению ДТП.

Замечено, что скользкость на дорогах зависит от многих факторов, в том числе от микроклимата в каждом конкретном месте, рельефно-ландшафтной ситуации и экспозиции дороги по отношению к солнцу. Выявлены причины обледенения дорог: из 232 случаев появления зимней скользкости: гололед – 42 %; изморось – 38 %; снежные отложения – 6 %; замерзшая вода – 4 %; отложения мокрого снега – 6 %; замерзший мокрый снег – 5 %.

В плане борьбы со скользкостью учитывается фактическое развитие процессов льдообразования и принимаются меры по первоочередной защите дорог от скользкости в тех местах, в которых она возникает чаще всего и существует продолжительное время. Учитываются и первопричины появления скользкости.

Кроме прогноза, который базируется на данных метеостанций о погодных-климатических условиях эксплуатации автомобильных дорог, важная роль отводится оперативному контролю эксплуатационного состояния дорог. С помощью датчиков температуры атмосферного воздуха, покрытия, влажности воздуха, направления ветра можно оперативно давать оценку вероятности появления скользкости на дорогах. Опыт многих зарубежных дорожных фирм и организаций, в том числе РГПП «Белавтострада», подтверждает целесообразность развития такой системы. При отсутствии дорожно-эксплуатационного мониторинга могут быть использованы другие средства контроля сцепных качеств дороги. Для этих целей разработан и используется портативный прибор определения скользкости, позволяющий при необходимости оперативно определять скользкость дорожного покрытия и принимать соответствующие меры.

На основании сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Зимнее содержание автомобильных дорог занимает значительное место в деятельности ДРСУ и требует больших затрат финансовых и людских ресурсов. В ДРСУ-165 на содержание 1 км автомобильных дорог в зимний период затрачивается до 3,5 тыс. руб. (в ценах до 1991 г.)

2. Степень заносимости дорог варьируется в значительных пределах – от незаносимых участков в течение зимнего периода до сильно заносимых, поэтому необходимо дифференцированно подходить к зимнему содержанию автомобильных дорог в пределах одной дорожно-эксплуатационной организации.

3. Для улучшения зимнего содержания автомобильных дорог необходимо совершенствовать систему сбора, хранения и использования метеорологической информации, обобщенной применительно к зимнему содержанию дорог.

4. Борьба со снежными отложениями на проезжей части автомобильных дорог включает защиту дорог от накопления снега и расчистку проезжей части от отложений, образующихся в процессе снегопада. Поэтому необходим комплексный подход, включающий как превентивную защиту дороги, так и очистку ее в процессе снегопадов. В плане инженерной подготовки, и особенно в части организации зимнего содержания, эти вопросы должны быть увязаны между собой, дополнять друг друга и обеспечивать наиболее рациональную организацию работ.

5. Зимняя скользкость на дорогах мало связана с защитой от снежных заносов, но ее зависимость от отложений снега и погодных-климатических факторов очевидна. Поэтому необходимо учитывать особенности микроклимата для всех характерных участков дороги, накапливать информацию о вероятности появления скользкости и хранить ее в специальных картограммах и паспортах автомобильных дорог.

6. Все известные способы борьбы с зимней скользкостью имеют право на существование. В ДРСУ-165 до последнего времени применяется песчано-солевая смесь, распределение которой осуществляется с помощью пескоразбрасывающей техники ЭД-226, ЭД-403, ПРС-6-551, КДМ-130. Ведутся подготовительные работы по испытанию ряда новых технологий по борьбе со скользкостью.

Для дальнейшего совершенствования организации работ по зимнему содержанию дорог необходимо пересмотреть действующие нормативные документы, технологические правила и карты по производству работ в зимний период. Необходимо также усилить внимание к метеорологическому обеспечению процессов зимнего содержания автодорог с использованием специального оборудования и средств контроля технического состояния проезжей части автомобильных дорог.

17.4. Учет климатических факторов при оценке долговечности асфальтобетонных покрытий*

Материалы, используемые для устройства дорожных одежд, в процессе эксплуатации подвергаются циклическому воздействию повторяющихся нагрузок от транспортных средств и одновременно – непрерывному влиянию *климатических факторов*. В наиболее неблагоприятных эксплуатационных условиях находятся материалы покрытий дорожных одежд и, в частности, асфальтовый бетон, особенно если учесть, что дорожные одежды нежесткого типа с асфальтобетонным покрытием занимают в нашей республике доминирующее положение.

Асфальтобетон является одним из наиболее сложных искусственных конгломератов, что обусловлено, главным образом, особенностью его структуры, а также зависимостью его свойств от многих факторов внешнего воздействия. Действие температуры, влаги, кислорода воздуха, солнечной радиации, агрессивных сред, механических нагрузок приводит к большому количеству разнообразных дефектов, образующихся на асфальтобетонном покрытии и, как правило, к снижению сроков его службы.

Основными видами разрушений асфальтобетонных покрытий являются трещины, выкрашивания, выбоины и пластические деформации. Удельный вес того или иного вида разрушений зависит от категории дороги и дорожно-климатической зоны. Если с деформациями пластического характера появилась возможность направленно бороться (путем усиления каркасности, увеличения степени уплотнения, применения более вязких битумов и активированных минеральных порошков), что нашло отражение в «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-83», то вопрос о нарушении сплошности поверхности покрытия в виде поперечных трещин остается открытым.

В основе всех этих разрушений лежит низкая деформационная способность асфальтовых бетонов, которая еще ослабляется в процессе эксплуатации. Анализ условий работы и типичных разрушений асфальтобетонных покрытий показывает, что обеспечение прогнозирования долговечности покрытий не может быть осуществлено без обоснованного выбора критериев и

системы оценки качества асфальтобетона, позволяющих судить о способности материала служить без разрушений в течение заданного срока эксплуатации.

В настоящее время большинство специалистов считают необходимым дифференцировать требования к асфальтобетону с учетом погодных-климатических условий, интенсивности и грузонапряженности движения. В целях дальнейшего повышения эффективности и качества строительства и эксплуатации дорожных асфальтобетонных покрытий необходимо уточнить с учетом влияния климатических условий взаимосвязь между расчетными параметрами дорожных одежд и требованиями к материалам конструктивных слоев.

Для решения этой проблемы необходима разработка системы моделирования климатических и эксплуатационных условий работы асфальтобетонных покрытий с учетом свойств материалов, из которых они изготовлены, с переходом к установлению корреляционных зависимостей между лабораторными испытаниями и реальной работой материалов в дорожных покрытиях. В практике научно-исследовательских работ целенаправленно усложняются методы лабораторных испытаний асфальтобетона. Однако они, как правило, основаны на дифференцированном подходе к оценке стабильности его структуры по результатам влияния отдельных факторов погодных-климатического характера, а применяемые показатели оценки его свойств носят отвлекающий характер и не используются в расчетах дорожных одежд. По данным разработок, выполненных на кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» БНТУ, и работ, опубликованных другими авторами, можно заключить, что в вопросах моделирования воздействия вредных факторов и прогнозирования свойств асфальтобетона в зависимости от погодных-климатических условий нет единой точки зрения, и дальнейшие исследования должны быть направлены на комплексный подход к моделированию знакопеременных температур после длительного водонасыщения, высоких температур ультрафиолетового облучения, динамического нагружения с периодическим определением модуля упругости, прочности на растяжение, вязкости ненарушенной структуры с одновременным определением этих же показателей на образцах, находящихся в реальных условиях эксплуатации.

Таким образом, климатология имеет первостепенное значение при выборе состава асфальтобетонной смеси и прогнозировании работоспособности автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием.

18. ФОРМУЛЫ И ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ УЧЕТА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ РЕШЕНИИ ДОРОЖНЫХ ЗАДАЧ

18.1. Прямая солнечная радиация у земной поверхности при известной массе атмосферы

Определяется по формуле

$$S_m = S_o \cdot p^m \cdot h,$$

где S_o – солнечная постоянная, $S_o = 1,353 \text{ кВт/м}^2$ или $1,98 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$);

p – коэффициент прозрачности атмосферы;

m – масса атмосферы на пути солнечных лучей, $m = 1/\sin h$;

h – высота солнца над горизонтом.

18.2. Прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность

Определяется по формуле

$$S' = S \sin h,$$

где S – солнечная радиация на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам;

h – высота солнца над горизонтом.
Суммарная солнечная радиация

$$Q = S' + D = S \sin h + D,$$

где D – рассеянная солнечная радиация.

18.3. Поглощенная солнечная радиация

Определяется по формуле

$$B_k = Q - R \quad \text{или} \quad B_k = Q(1 - A),$$

где Q – суммарная солнечная радиация;
 R – отраженная от земной поверхности радиация;
 A – альбедо.

18.4. Уровень прямой солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность

Определяется по формуле

$$S_{cm} = S \cos \alpha,$$

где S – прямая радиация, поступающая на поверхность, перпендикулярную лучам;
 α – угол падения солнечных лучей на поверхность

$$\cos \alpha = \cos h - \cos \varphi,$$

где h – высота солнца над горизонтом;

$$\varphi = A - A_{cm},$$

где A – азимут солнца;
 A_{cm} – азимут стояния, или перпендикуляра к рассматриваемой поверхности.

18.5. Превышения одной точки над другой при барометрическом нивелировании

Определяется по формуле

$$Z = 8000 \frac{2(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2} (1 + \alpha t),$$

где P_1, P_2 – атмосферное давление в нижней и верхней точках, гПа;
 α – коэффициент расширения воздуха, равный 0,00366;
 t – средняя температура воздуха, измеренная в верхней и нижней точках.

18.6. Высота баретической ступени

Определяется из условия, что $P_1 - P_2 = 1$, а $P_1 + P_2 = 2P$, и равна

$$h = 800 \frac{1 + \alpha t}{P},$$

где α , t , P_1 , P_2 аналогичны значениям, приведенным в предыдущей формуле.

18.7. Горизонтальный барический градиент (в Па/м; кПа/км)

Определяется по формуле

$$\Gamma_p = \frac{p_2 - p_1}{\Delta S},$$

где p_1 , p_2 – атмосферное давление в точках 1 и 2, находящихся на расстоянии ΔS .

18.8. Собственное излучение земной поверхности

Определяется по формуле

$$E = \delta \sigma T^4,$$

где δ – относительная излучающая способность поверхности: черные тела – 1, снег – 0,98, сухой песок – 0,9;

σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,65 \cdot 10^{-10}$ мВт ($\text{см}^2 \text{К}^4$) = $8,14 \cdot 10^{-11}$ кал ($\text{см}^2 \text{мин} \cdot \text{К}^4$);

T – абсолютная температура поверхности.

18.9. Эффективное излучение поверхности

Определяется по формуле

$$E_{\text{эф}} = E_3 - E_a,$$

где E_3 – излучение земной поверхности;

E_a – встречное излучение атмосферы.

18.10. Радиационный баланс земной поверхности

Определяется по формуле

$$B = B_k + B_d \quad \text{или} \quad B = (S \sin h + D)(1 - A) - E_{\text{эф}},$$

где значения величин аналогичны приведенным выше.

В ночное время солнечная радиация $Q = 0$, а поэтому $B = B_d = -E_{\text{эф}}$.

18.11. Относительная влажность воздуха

Определяется по формуле

$$f = \frac{e}{E} 100\%,$$

где e – упругость водяного пара;

E – насыщение водяного пара при заданной температуре.

18.12. Дефицит упругости водяного пара

Определяется по формуле

$$D = E - e.$$

18.13. Удельная влажность воздуха

Определяется по формуле

$$S = q/p = \frac{622e}{p - 0,378e},$$

где q – плотность водяного пара;

p – давление атмосферы;

e – упругость водяного пара.

18.14. Расход тепла на испарение воды

Определяется по формуле

$$Q_1 = \frac{CSL(E - e)}{p},$$

где C – коэффициент пропорциональности, зависящий от скорости движения воздуха относительно поверхности;

S – площадь поверхности;

L – теплота превращения воды в пар;

E – максимальная упругость водяного пара при температуре испарения;

e – упругость водяного пара;

p – атмосферное давление.

18.15. Температура в грунте – поток тепла Q_z , проходящий за 1 с через 1 см^2 горизонтальной поверхности на глубину z

Определяется по формуле

$$Q_z = -\lambda_z \frac{dQ}{dz},$$

где λ_z – коэффициент теплопроводности;

Q – температура на поверхности грунта.

18.16. Необходимый период высыхания грунта (до начала земляных работ) в случае, если естественная влажность грунта в резерве W_e больше оптимальной влажности грунта W_o

Определяется по формуле

$$T_{\text{пр}} = \frac{W_e - W_o}{a_1 + a_2}, \text{ сут,}$$

где a_1 и a_2 – коэффициенты, учитывающие температуру воздуха, скорость ветра и вид грунта, при $t_{\text{воз}} = +10$ °С и скорости ветра 4 м/с они равны соответственно: для песков – 0,04 и 0,14; для супесей – 0,03 и 0,08; для суглинков – 0,02 и 0,04.

18.17. Формулы для определения температуры покрытия

По Б.И. Ладыгину:

$$t_{\text{п}} = 1,3t_{\text{в}} + 7,$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха, °С;

По Я.Н. Ковалеву:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{впс}} + \frac{J_c(1-A)K_{\text{п}}}{\alpha_c},$$

где $t_{\text{впс}}$ – температура воздуха в пограничном слое, °С;

J_c – расчетный поток суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, ккал/м²ч;

A – коэффициент отражения солнечных лучей поверхностью покрытия;

α_c – суммарный коэффициент теплоотдачи на границе покрытия и воздуха, ккал/м² ч °С;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери тепла, термического нагрева, потери за счет конвекции и излучения, $K_{\text{п}} = 0,16$;

По Я. Махмудову:

$$t_{\text{п}} = [t_{\text{в}} + \frac{J_c(1-A)}{\alpha_c}]K,$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха;

K – коэффициент неравномерности нагревания и остывания асфальтобетонного покрытия, когда его материал переходит из упругого состояния в вязкопластическое;

J_c – расчетный поток суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, ккал/м²ч;

A – коэффициент отражения солнечных лучей поверхностью покрытия;

α_c – суммарный коэффициент теплоотдачи на границе покрытия и воздуха, ккал/м² ч °С;

По Б.И. Ладыгину:

$$t_{\text{п}} = 0,3 t_{\text{оп}} + 0,7 t_{\text{max}},$$

где $t_{\text{п}}$ – расчетная температура покрытия;

$t_{\text{оп}}$ – сдвигоопасная температура, при которой асфальтобетонное покрытие переходит из упруго-вязкого состояния в вязкопластическое;

t_{max} – максимальная температура покрытия;

По М.Г. Бабаеву:

$$t_{\Pi} = 2,22 t_{\text{ВД}} + 31;$$

$$t_{\Pi} = 2,22 t_{\text{ВМ}} - 20,$$

где $t_{\text{ВД}}$ – температура воздуха над дорогой;
 $t_{\text{ВМ}}$ – температура воздуха на ближайшей метеостанции.

18.18. Ширина шва расширения, назначаемая из условий возможности расширения плиты при нагревании

$$b = \beta E_1 L T_p,$$

где β – коэффициент, учитывающий сжимаемость прокладки, $\beta = 2$;
 E_1 – коэффициент температурного расширения;
 L – длина плиты;
 T_p – расчетный перепад температуры,

$$T_p = T_{\text{max}} - T_{\text{н}} + T_{\text{с}} + T_{\text{у}},$$

где T_{max} – максимально возможная температура в данном районе;
 $T_{\text{н}}$ – температура укладки бетона;
 $T_{\text{с}}$ – температура нагрева бетона солнцем;
 $T_{\text{у}}$ – температура усадки бетона.

18.19. Температурные напряжения, возникающие в плите:

$$\sigma = \frac{E\alpha(t - t_0)}{1 - M_0},$$

где E – модуль упругости бетона;
 α – коэффициент линейного температурного расширения бетона, $\alpha = 0,00001$;
 $t - t_0$ – экстремальные значения температуры покрытия;
 M_0 – коэффициент Пуассона для бетона, $M_0 = 0,15$.

Разница температур между верхней и нижней поверхностью плиты может достигать 10-15 °С, что приводит к короблению плит.

18.20. Критерии выбора битума для приготовления асфальтобетона

$(T_{\text{в}} + T_{\text{н}}) \leq 90$ °С – асфальтобетон на чистом битуме;
 $(T_{\text{в}} + T_{\text{н}}) > 90$ °С – асфальтобетон на модифицированном битуме,
где $T_{\text{в}}$ – расчетная положительная температура воздуха,

$$T_{\text{в}} = 1,3t_{\text{max}}^{\text{в}} + 4^{\circ}\text{C};$$

$T_{\text{н}}$ – расчетная отрицательная температура воздуха,

$$T_{\text{н}} = 0,86t_{\text{min}}^{\text{в}} + 1,7^{\circ}\text{C}.$$

18.21.* Яркость объекта в тумане при освещении автомобильными фарами (по М.А. Гольдбергу)

$$B_{об} = \frac{J_o}{R^2} e^{-\alpha(l+R)} \frac{r_{об}}{\pi} + B_d,$$

где J_o – осевая сила света фары;

α – коэффициент ослабления излучения в атмосфере;

l, R – расстояния соответственно от вершины снопа лучей фары и наблюдателя до объекта и фона (принимается, что они расположены в одной плоскости);

$r_{об}$ – коэффициент яркости объекта;

B_d – яркость дымки между объектом и водителем.

18.22. Яркость фона в тумане при освещении автомобильными фарами

$$B_{\phi} = \frac{J_o}{R^2} e^{-\alpha(l+R)} \frac{r_{\phi}}{\pi} + B_d,$$

где r_{ϕ} – коэффициент яркости фона.

18.23. Яркостный контраст объекта и фона (при $l = R$)

$$K = \left(\frac{B_{об} - B_{\phi}}{B_{об}} \right) = \frac{r_{об} - r_{\phi}}{r_{об} \left(1 + \frac{l^2 \cdot B_d \pi}{J_o \cdot r_{об}} \cdot e^{2\alpha l} \right)} = \frac{K_0}{1 + A \frac{l^2}{S_m^2} e^{2\alpha l}};$$

$$K_0 = \frac{r_{об} - r_{\phi}}{r_{об}}; \quad A = \frac{B_d \pi \cdot S_m^2}{J_o \cdot r_{об}},$$

где K_0 – истинный контраст объекта с фоном;

A – коэффициент.

18.24. Метеорологическая дальность видимости с учетом уравнения Кошмидера

$$S_m = \frac{3,9}{\alpha},$$

где α – коэффициент ослабления излучения в атмосфере.

18.25. Метеорологическая дальность видимости

Метеорологическая дальность видимости – это предельное расстояние при данных погодных-климатических условиях, на котором АЧП с угловыми размерами не менее 20' сливается с фоном и становится невидимым. Определяется по формуле

$$S_m = \ln \varepsilon / \ln \tau,$$

где ε – порог контрастной чувствительности глаза, $\varepsilon \approx 0,02$);
 τ – коэффициент прозрачности атмосферы.

18.26. Дата начала Z_H и окончания Z_K весенней распутицы для сводных грунтов (формулы В.М. Сиденко)

$$Z_H = T_1 + \frac{5}{\alpha};$$

$$Z_H = Z_H + \frac{0,7h_{\text{пр}}}{\alpha},$$

где T_1 – дата перехода температуры воздуха весной через 0°C ;
 α – климатический коэффициент, характеризующий скорость от-таивания грунта, см/сут;
 $h_{\text{пр}}$ – средняя максимальная глубина промерзания грунта в данном районе, см.

18.27. Продолжительность выполнения линейных земляных работ

$$T_p = T_t - T_{\text{вес}} - T_{\text{ос}} - T_{\text{п}} - T_{\text{вых}},$$

где T_t – продолжительность строительного сезона;
 $T_{\text{вес}}, T_{\text{ос}}$ – продолжительность весенней и осенней распутицы;
 $T_{\text{п}}$ – количество нерабочих дней по погодным условиям;
 $T_{\text{вых}}$ – количество праздничных и выходных дней.

18.28. Климатическая продолжительность сосредоточенных работ

$$T_k = 365 - T_{\text{вес}} - T_{\text{ос}} - T_{\text{п}} - T_{\text{м}},$$

где $T_{\text{м}}$ – суммарное количество суток с метелями, установленное для рассматриваемого района по климатическому справочнику.

18.29. Действительное время наблюдений на определенной станции

$$\tau_o = \tau_n + 4(\lambda - 15N) - \Delta t,$$

где τ_n – постоянное время, $\tau_n = \tau_c + \Delta t$;
 λ – поясное время станции (ее долгота);
 N – номер часового пояса;
 Δt – разность между поясным и сезонным временем τ_c .

19. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. **Адвекция** – перенос свойств воздуха при горизонтальном его движении.
2. **Альbedo** – отношение интенсивности солнечной радиации, отраженной поверхностью, к интенсивности этой радиации, падающей на данную поверхность.

3. **Альбедометр** – прибор для измерения суммарной и отраженной от земной поверхности радиации и последующего вычисления величины альбедо.
4. ***Амплитуда*** – разность между максимальным и минимальным значениями метеорологической величины.
5. ***Амплитуда температуры воздуха*** – температура, рассчитанная независимо от состояния облачности за многолетний период наблюдений. Средняя суточная амплитуда температуры воздуха рассчитана по ежедневным данным наблюдений как разность между суточным максимумом и минимумом температуры воздуха и имеет обеспеченность 0,5. Максимальная суточная амплитуда температуры воздуха определяется как наибольшее значение разности между суточным максимумом и минимумом температуры воздуха за период наблюдений и имеет обеспеченность, близкую к единице.
6. ***Анализ синоптический*** – общее исследование и одновременно обозрение большого числа метеорологических данных на обширной территории.
7. **Анемометр** – прибор для измерения скорости ветра.
8. **Анеморумбометр** – прибор для измерения скорости и направления ветра.
9. ***Антипассаты*** – западные ветры на высотах в экваториальном поясе земли.
10. **Антициклон** – область повышенного давления с определенной системой ветра. Обычно развивается в однородной воздушной массе и не имеет фронтов.
11. ***Аспиратор*** – приспособление для отбора воздуха для анализа его состава и определения уровня запыленности окружающей среды. Используется в горной, металлургической и пищевой промышленности.
12. **Атмосфера** – газообразная оболочка Земли, имеющая сложный состав и структуру.
13. ***Атмосфера стандартная*** – характеристика некоторого независимого от времени суток и года постоянного состояния атмосферы, рассматриваемого в предположении, что воздух представляет собой идеальный газ и основные его параметры на уровне моря имеют определенные общепринятые исходные значения.
14. ***Атмосферостойкость*** – способность строительных материалов длительное время сохранять свои первоначальные свойства в условиях частых изменений температуры, под воздействием солнечных лучей, дождя, ветра, при насыщении водой.
15. ***Аэрозоли атмосферные*** – твердые или жидкие частицы, обладающие малыми скоростями осаждения.
16. ***Аэрономия*** – наука о высоких слоях атмосферы.
17. ***Бактерии анаэробные*** – бактерии, способные жить без кислорода при его наличии.
18. **Баланс земной поверхности радиационный** – разница между всеми потоками радиации, поступающими на поверхность и исходящими от нее.
19. ***Баланс тепловой*** – разница потоков тепловой энергии, приходящих к поверхности Земли (нисходящих) и направленных от нее (восходящих). Тепловой баланс зависит от множества факторов-величин: солнечного излучения, состояния атмосферы, характеристик земной поверхности, наличия ветра и др.
20. ***Бар*** – единица атмосферного давления, равная 1000 миллибарам или 750,1 мм рт. ст.
21. **Барометр** – прибор для измерения атмосферного давления. Различают барометры ртутные, anerоиды, гипсотермометры, барографы и др.
22. ***Биогеоценоз*** – пространственно организованный, внутренне однородный комплекс взаимосвязанных и взаимозависимых биотических компонентов относительно однородного по природным условиям участка земной поверхности.
23. **Биосфера** – зона Земли (включая верхнюю литосферу и нижнюю часть атмосферы), являющаяся областью существования живого вещества или затронутая жизнедеятельностью живых организмов.
24. ***Биполярный*** – имеющий два противоположных полюса, например, стержневидный магнит.
25. ***Бора*** – сильный порывистый холодный ветер, возникающий при обваливании холодного воздуха с прибрежных невысоких гор на побережье и море.

26. **Бриз береговой** – ветер, дующий ночью с суши на море и вызванный разностью их температур.
27. **Бриз морской** – ветер, дующий днем с моря на сушу и вызванный разностью их температур.
28. **Буря (пурга)** – перенос снега при скорости ветра более 20 м/с.
29. **Ветер** – горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности. Его основные характеристики – направление, скорость и сила.
30. **Ветер географический** – движение воздуха вдоль криволинейных изобар, происходящее в том случае, когда уравновешены горизонтальные составляющие сил градиента давления и кориолисовой.
31. **Ветер горный** – ветер, дующий ночью с гор в долины.
32. **Ветер градиентный** – движение воздуха вдоль криволинейных изобар, происходящее в том случае, когда уравновешены горизонтальные составляющие сил давления, кориолисовой и центробежной.
33. **Ветер долинный** – ветер, дующий днем из долины вверх по склонам гор.
34. **Ветер адиабатический** – ветер, вызванный гравитационным стеканием воздуха из высоко расположенных местностей.
35. **Ветролом** – крупные объекты (здания, высокие деревья и т.п.), изменяющие скорость и направление ветра.
36. **Вещество гигроскопическое** – вещество, поглощающее водяной пар.
37. **Видимость** – степень различимости удаленных предметов или огней.
38. **Виды (разновидности) облаков** – классификационные единицы облаков в структуре основных форм. Виды и разновидности отражают некоторые особенности морфологии и внешнего вида различных облаков соответствующих форм.
39. **Влагодъемкость** – способность материала (горной породы) удерживать в своих порах воду при возможности свободного ее вытекания под действием силы тяжести. Горные породы подразделяются на очень влагодъемкие (торф, ил, глина), слабовлагодъемкие (мел, мергель, лессовые породы, супеси, мелкозернистые пески) и невлагодъемкие (галечники, гравий, крупные пески).
40. **Влажность¹** – содержание водяного пара в воздухе.
41. **Влажность²** – содержание влаги в твердом теле (древесина, бетон и др.), порошке (цемент, известь и др.) или газе (воздух). Различают влажность абсолютную и относительную.
42. **Влажность абсолютная** – отношение массы воды к массе сухого материала

$$W = \frac{m_e - m_c}{m_c} \cdot 100$$

43. **Влажность абсолютная воздуха** – масса водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха.
44. **Влажность относительная воздуха** – отношение упругости водяного пара, находящегося в воздухе, к упругости насыщенного пара при данной температуре. Характеризует степень насыщенности воздуха водяным паром и выражается в процентах.
45. **Влажность относительная** – отношение массы воды к массе влажного материала. Определение влажности высушивания образцов материалов производится при $t^\circ = 105-107^\circ \text{C}$. Содержание химически связанной воды, выделяющейся только при химическом разложении, а также воды, входящей в состав ряда кристаллических веществ, при исследовании влажности материала не учитывается.
46. **Влажность удельная** – масса водяного пара, содержащегося в единице массы влажного воздуха.
47. **Водонасыщение** – способность материала поглощать и удерживать воду при давлении выше атмосферного или в вакууме.
48. **Водопоглощение** – свойство материала впитывать и удерживать воду под действием молекулярных и капиллярных сил при нормальном атмосферном давлении. Водопоглощение прочных изверженных пород не превышает 1 %, плотных осадочных пород – 3

%, а у пористых достигает 8 % и более. Различают водопоглощение по массе W_m и по объему W_o , определяемые (в процентах) по следующим формулам:

$$W_m = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 ; \quad W_o = \frac{m_1 - m_0}{V} \cdot 100$$

Между водопоглощением по объему и по массе существует зависимость

$$\frac{W_o}{W_m} = \frac{(m_1 - m_0) \cdot 100}{V} = \frac{(m_1 - m_0) \cdot 100}{m_0} = \frac{m_0}{V} = \rho_0$$

49. **Водопроницаемость** – способность материала пропускать воду под давлением. Измеряется по массе воды, прошедшей через 1 см^2 поверхности материала за 1 час при постоянном давлении. Степень водопроницаемости материалов зависит от их плотности и строения. Практически водонепроницаемыми являются особо плотные материалы с мелкими замкнутыми порами (специальный бетон, большинство скальных пород). Горные породы (особенно – осадочного происхождения) имеют значительную водопроницаемость.

50. **Водность тумана** – количество капельно-жидкой и кристаллической влаги в граммах, содержащейся в 1 м^3 воздуха. При низких температурах колеблется от 0,05 до 0,1 г/м^3 , при положительных – от 1 до 1,5 г/м^3 .

51. **Воздух** – натуральная смесь газов, которая образует атмосферу. В составе воздуха (% по объему) азота – 78,09; кислорода – 20,95; креона – 0,93; углекислого газа – 0,03; неона – $1,8 \cdot 10^{-3}$; других инертных газов (гелия, криптона, ксенона) – $5,7 \cdot 10^{-4}$. Среди примесей – водяной пар, сернистый газ, различные углеводороды и др.

52. **Воздух арктический** – воздушная масса, формирующаяся над поверхностью Арктики.

53. **Воздух континентальный** – воздушная масса, формирующаяся над поверхностью суши.

54. **Воздух морской** – воздушная масса, формирующаяся над океаном.

55. **Воздух нейтральный** – воздух, который в данном районе сохраняет свои свойства без существенных изменений.

56. **Воздух неустойчивый** – воздух, в котором вертикальный градиент температуры больше адиабатического.

57. **Воздух полярный** – воздушная масса, формирующаяся в полярных зонах.

58. **Воздух тропический** – воздушная масса, формирующаяся в тропических широтах.

59. **Воздух устойчивый** – воздух, в котором вертикальный градиент температуры меньше адиабатического.

60. **Воздух экваториальный** – воздушная масса, формирующаяся вблизи экватора.

61. **Восхождение орографическое** – подъем воздуха по склонам гор.

62. **Время поясное** – местное время, которое в соответствии с решением международного сообщества принято в системе исчисления времени для различных часовых поясов.

63. **Вторжение холодное** – быстрое и сильное понижение температуры воздуха в течение суток.

64. **Гелиограф** – прибор для непрерывной записи продолжительности солнечного сияния.

65. **Гетеросфера** – слой атмосферы, в котором ее состав изменяется с высотой в связи с расслоением газов по их молекулярным весам.

66. **Гидратация** – взаимодействие воды с химическими соединениями. В результате гидратации могут образовываться новые химические соединения.

67. **Гидрология** – наука о физических процессах, совершающихся в водной оболочке земли.

68. **Гидрометеорология** – наука, которая изучает режим водной оболочки Земли с учетом выпадающих на землю осадков, особенностей формирования и таяния снежного покрова и ледников.

69. **Гидрометеоры** – собирательный термин, относящийся ко всем видам атмосферных осадков.

70. **Гололед** – слой плотного льда, покрывающий поверхность земли, проезжую часть дорог, деревья, провода линий связи и электропередач, наземные предметы и сооружения.

71. **Гололедица** – процесс обледенения поверхности дороги, протекающий при отрицательной температуре в приземном воздухе и высокой его влажности.

72. **Гомосфера** – слой атмосферы, в котором ее газовый состав не меняется с высотой в связи с непрерывным перемешиванием.

73. **Град** – осадки в виде кусочков льда.

74. **Градиент горизонтальный барический** – отношение изменения атмосферного давления ($P_2 - P_1$) на единицу расстояния (ΔS), определяемое по формуле

$$Gr = \frac{P_2 - P_1}{\Delta S} .$$

Чаще всего выражается в миллибарах на 100 км (мбар/100 км).

75. **Градиент давления** – изменение давления, приходящееся на единицу расстояния.

76. **Градиент сухоадиабатический** – изменение температуры в сухом или влажном ненасыщенном воздухе при его подъеме или опускании в атмосфере на 100 м высоты.

77. **Градиент температуры вертикальный** – изменение температуры воздуха, приходящееся на единицу высоты, чаще всего – на 100 м.

78. **Градусо-день** – разность между фактической средней суточной температурой воздуха за данные сутки и некоторым стандартным ее значением.

79. **Гроза** – прохождение кучево-дождевого облака, сопровождающееся сильным ветром, осадками, молнией и громом.

80. **Гром** – сильный звук, вызванный быстрым расширением воздуха в области молнии и последующим его сжатием.

81. **Давление** – сила, действующая на единицу площади.

82. **Давление атмосферное** – сила, с которой атмосфера действует на единицу площади.

83. **Давление атмосферное стандартное** (нормальное) – давление, которое устанавливается при температуре 0 °С, на уровне моря, на параллели 45° северной широты, равно 1013,2 г·Па, или 760 мм ртутного столба.

84. **Давление пара** – давление, производимое молекулами водяного пара, находящегося в воздухе.

85. **Дальность видимости метеорологическая** – предельное расстояние, на котором при данных условиях абсолютно черный предмет с угловыми размерами не менее 20', проектирующийся на фоне неба вблизи горизонта или воздушной дымки, сливается с ним и становится невидимым. Определяется по формуле

$$S_m = \frac{\ln \varepsilon}{\ln \tau} ,$$

где ε – порог контрастной чувствительности глаза, $\varepsilon \approx 0,02$;

τ – коэффициент прозрачности.

86. **Дальность дневной видимости** – предельное расстояние, при котором удаленный предмет становится неотличимым от окружающего его фона (перестает быть видимым).

87. **Движение конвективное** – перемещение воздуха, вызванное различием теплосодержания и плотности разных его порций.

88. **Дегидратация** – отщепление воды от химических соединений (реакция, обратная гидратации), применяется для получения ангидридов из кислот, безводных солей из кристаллогидратов, этилена из этилового спирта.

89. **Депрессия термическая** – область пониженного давления, возникающая летом над сушей, а зимой – над обширными водоемами в результате устойчивых восходящих движений воздуха. В результате тропической депрессии возникают интенсивные тропические циклоны.

90. **Десублимация** – переход водяного пара в кристаллическое состояние, минуя жидкую фазу.

91. **Дефицит влажности** – одна из характеристик влажностного состояния воздуха, свидетельствующая о недостатке его насыщения водяным паром. При относительной влажности 100 % равен нулю.

92. **Деятельность циклоническая** – возникновение и развитие крупномасштабных вихрей в земной атмосфере с образованием циклонов и антициклонов.

93. **Диagenез** – изменение структуры снежного покрова, обусловленное влиянием только внутренних факторов – оседания под действием собственного веса, сублимационного округления снежинок вследствие возгонных паров с мельчайших снежных фракций и т.д.

94. **Диссоциация** – распад частицы (молекулы, радикала, иона) на несколько более простых частиц. В зависимости от характера воздействия, вызывающего диссоциацию, различают диссоциацию термическую, электролитическую, фотодиссоциацию и др.

95. **Диффузия** – перенос вещества за счет теплового движения частиц (молекул, атомов и др.) в одно- или многокомпонентной газовой или конденсированной среде; взаимное проникновение веществ, которые между собой граничат.

96. **Дождемер** – прибор для измерения количества выпавших осадков.

97. **Дождь** – вода, выпадаемая из облаков в виде капель преимущественно размером 0,5...1,0 мм.

98. **Достоверность метеорологических наблюдений** – качество исследований, подтвержденное использованием исправных и проверенных приборов, утвержденных методик и современных методов математической статистической обработки полученной первичной информации.

99. **Дымка** – скопление взвешенных в воздухе мелких капель воды или кристаллов льда, ухудшающих горизонтальную видимость в пределах от 1 до 10 км.

100. **Заносы снежные** – отложения снега в складках местности, у инженерных сооружений, заборов, снегозащитных насаждений и других препятствий на пути движения снежно-ветрового потока.

101. **Зенит** – точка небосвода, находящаяся непосредственно над головой наблюдателя.

102. **Значение нормальное** – среднее значение метеорологической величины за определенный интервал времени.

103. **Значение среднее** – результат обычного арифметического осреднения отдельных значений метеорологической величины.

104. **Значение элемента среднее годовое** – среднее арифметическое средних значений элемента за 12 месяцев.

105. **Значение элемента среднее месячное** – среднее арифметическое значение всех измерений элемента в среде наблюдения в данном месяце за многолетний период наблюдений.

106. **Зона затишья экваториальная** – пояс слабых ветров в районе экватора.

107. **Зона конвергенции внутритропическая** – широтный пояс сходимости пассатов в районе экватора, в котором встречаются пассаты северного и южного полушарий.

108. **Зона тундры** – природная зона арктического и субарктического поясов земли, расположенная на северных окраинах Европы, Азии, Северной Америки и прилегающих островах.

109. **Излучение восходящее длинноволновое** – солнечное излучение, отраженное от поверхности земли. Зависит от величины поступающей на поверхность земли солнечной радиации и свойств самой поверхности (суша, вода, растительность и т.п.).

110. **Излучение нисходящее длинноволновое** – солнечное излучение, пропущенное облаками и распространяющееся в подоблачном слое атмосферы.

111. **Излучение солнечное** – нисходящая коротковолновая радиация, достигающая верхней границы атмосферы. Оценивается как солнечная постоянная, зависит от географической широты и долготы рассматриваемой точки, имеет выраженный сезонный и суточный ход. В атмосфере солнечное излучение ослабевает за счет поглощения и отражения.

112. **Изморозь зернистая** – снегообразные рыхлые осадки некристаллического строения. Возникает в результате намерзания влаги на проводах, ветвях деревьев и других объектах при тумане, ветреной погоде и температуре от $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже.

113. **Изморозь кристаллическая** – белые осадки на предметах в виде мелких кристаллов льда, имеющих форму пушистых гирлянд, которые образуются при температуре воздуха ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, наличии ледяного тумана и относительной влажности воздуха около 100 %.

114. **Изобара** – линия на синоптической карте, соединяющая точки с одинаковым давлением.

115. **Изопауза** – граница между нижней стратосферой с незначительным градиентом температуры и вышележащим инверсионным слоем атмосферы.

116. **Изотерма** – линия, соединяющая точки с одинаковой температурой (карта изотермы или карта поля температуры).

117. **Инверсия** – увеличение температуры воздуха с высотой вместо обычного ее уменьшения.

118. **Индекс влажности** – отношение, используемое в классификации климатов Торнтвейта, основанное на учете количества осадков и величины испарения.

119. **Иней** – белые твердые мелкокристаллические осадки, образующиеся на поверхности земли, траве, листьях, крышах в виде снежного покрова путем сублимации водяного пара.

120. **Инсоляция** – поступление солнечной радиации на земную поверхность.

121. **Информация метеорологическая первичная** – информация, сбор которой осуществляется непосредственно на метеорологических, аэрологических и метеорологических радиолокационных станциях, а также на кораблях, самолетах и космических спутниках.

122. **Информация метеорологическая фактическая** – данные о наблюдениях атмосферных явлений, числовые значения метеорологических параметров, получаемые в пунктах метеорологических наблюдений.

123. **Ион** – заряженный атом, молекула или частица атмосферной примеси.

124. **Ионизация** – возникновение электрического заряда у атомов и молекул атмосферных газов.

125. **Ионосфера** – слой атмосферы, содержащий значительное число электронов и ионов.

126. **Испарение** – переход жидкости или твердого тела в газообразное состояние.

127. **Истощение слоев** – сильная потеря солей живым организмом.

128. **Калория** – единица теплоты: количество тепла, необходимое для нагревания 1 г дистиллированной воды от $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1\text{ кал} = 4,1868\text{ Дж}$.

129. **Карбонизация** – процесс поглощения материалом углекислого газа из воздуха с образованием новых химических соединений. В результате карбонизации в изделии, содержащем известь, образуется углекислый кальций, цементирующий зерна заполнителя. В естественных условиях гидрат кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ под влиянием CO_2 постепенно возвращается в карбонатную форму, приобретая свойства природного известняка (CaCO_3).

130. **Карта синоптическая** – карта, на которую нанесены результаты метеорологических наблюдений на обширной территории. Различают приземные (основные и кольцевые) и высотные синоптические карты.

131. **Карточка индекса ветра и мороза** – табличное представление условий воздействия температуры и ветра на организм человека.

132. **Карты высотные** – синоптические карты для различных слоев атмосферы, составленные на основе метода барической топографии.

133. **Карты климатические** – карты, которые отражают территориальное распределение климатических условий, особенности климата, развитие климатообразующих атмосферных процессов и др. (например: «Движение циклонов и антициклонов»).

134. **Карты основные** – синоптические приземные карты, составленные по данным многолетних метеорологических наблюдений на 3, 9, 15 и 21 ч московского времени и охватывающие большую территорию (около 4-5 тыс. км в меридианном и широтном направлениях).

135. **Карты приземные** – синоптические карты, составленные для анализа и оценки атмосферных процессов в околоземном пространстве.

136. **Качество метеорологических наблюдений** – соответствие методики и техники метеорологических наблюдений установленным правилам и программам. Результаты наблюдений должны обеспечивать требуемую репрезентативность, непрерывность, достоверность, однородность и сравнимость в принятой системе измерений.

137. **Квалиметрия** – наука, объединяющая количественные методы оценки качества продуктов и процессов производства, состояния среды.

138. **Классификация Кеппена** – одна из классификаций климатов Земли.

139. **Классификация Торнтвейта** – одна из классификаций климатов Земли.

140. **Классификация туманов** – разделение туманов на разновидности по синоптическим и физическим условиям их образования или в зависимости от местных особенностей образования. Различают туманы внутримассовые (охлаждения, испарения) и фронтальные.

141. **Климат** – общий характер погоды в данном регионе, установленный по результатам систематических многолетних метеорологических наблюдений, являющийся важной физико-географической характеристикой данного района.

142. **Климат города** – местный климат большого города, отличающийся от климата прилегающих территорий наличием смога, относительно более высокой температурой воздуха, повышенным количеством осадков, меньшей прозрачностью атмосферы и т.п.

143. **Климат морской** – климат, обусловленный, в первую очередь, ветром, дующим с океана на сушу.

144. **Климат побережья** – климат береговых районов суши, находящихся под воздействием соседнего водоема.

145. **Климатология** – раздел климатологии, изучающий климат в различных районах Земного шара и объясняющий генетику его распределения.

146. **Климатология** – наука о климате.

147. **Климатология дорожная** – отрасль науки, которая изучает влияние климата и погоды на технологию и организацию дорожных работ, транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог, инженерных сооружений и объектов дорожной службы.

148. **Климатология медицинская** – отрасль науки, которая изучает влияние климата и погоды на организм человека и методы его использования в лечебных и профилактических целях.

149. **Климатология синоптическая** – изучение климата с помощью синоптических карт.

150. **Климатология строительная** – отрасль науки, которая изучает влияние климата и погоды на выбор архитектурно-планировочных решений, материалов и конструкций объектов промышленного и гражданского назначения, технологию и организацию строительного производства.

151. **Климатотерапия** – использование климатических ресурсов в лечебных и профилактических целях. Разновидности – азотерапия, гелиотерапия, спелеотерапия, закаливание и др.

152. **Количество осадков за год среднее** – показатель, характеризующий высоту слоя воды, образовавшегося на горизонтальной поверхности от выпавшего дождя, мороси, обильной росы и тумана, растаявшего снега, града и снежной крупы, при отсутствии стока, просачивания и испарения.

153. **Количество осадков среднее** (за сутки, месяц, несколько месяцев, теплый или холодный период года) – сумма всех измерений осадков за рассматриваемый промежуток времени, осредненная за многолетний период наблюдений.

154. **Конвекция** – перенос тепла движущейся жидкостью или газом.

155. **Конвекция динамическая** – перемещение воздуха, при котором образуются воздушные вихри, способствующие перемешиванию слоев воздуха с различной температурой и обеспечивающие теплообмен между воздухом и поверхностью земли.
156. **Конвекция тепловая** – перенос тепла поднимающимся вверх более теплым воздухом.
157. **Конвекция термическая** – вертикальные движения воздуха, возникающие над нагретой поверхностью суши или в холодной воздушной массе, перемещающейся на теплую подстилающую поверхность.
158. **Конденсация** – переход водяного пара в жидкое состояние.
159. **Коэффициент прозрачности атмосферы** – характеристика состояния воздушной сферы, используемая для выражения степени ослабления светового потока при прохождении его через слой атмосферы толщиной в 1 км.
160. **Круговорот биологический** – непрерывный циклический процесс перераспределения веществ, энергии и информации в пределах экологических систем различного иерархического уровня – от биогеоценозов до биосферы в целом.
161. **Круговорот воды** – полный цикл изменений состояния и переносов воды на Земле.
162. **Кульминация верхняя** – момент, когда солнце находится в зените (достигает максимальной высоты).
163. **Кульминация** – момент времени, когда солнце в течение суток пересекает меридиан данного места. Различают верхнюю и нижнюю кульминацию.
164. **Кульминация нижняя** – момент, когда солнце находится в крайнем нижнем положении данного меридиана.
165. **Ландшафт** – территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных или природных и антропогенных комплексов, а также комплексов более низкого таксонометрического ранга. По различным основаниям различают ландшафты антропогенные и природные, культурные и акультурные, лесные, болотные, степные, горные и т.п.
166. **Магнитосфера** – область атмосферы, в которой проявляется действие магнитного поля Земли.
167. **Макроклимат** – климатические условия, общие для больших пространств земной поверхности.
168. **Максимум или минимум абсолютный** – наивысшее и наименьшее из когда-либо отмечавшихся значений метеорологической величины. Используется в климатологии.
169. **Максимум осадков суточный** – показатель, характеризующий наибольшие суммы осадков, выпавших в течение метеорологических суток; выбирается из ежедневных наблюдений. Обеспеченность этого показателя близка к единице.
170. **Масса воздушная** – очень большой объем воздуха, обладающего сравнительно однородными свойствами.
171. **Масса воздушная теплая** – воздушная масса, движущаяся из теплых районов в холодные, вызывая на своем пути потепление. Для нее характерны туманы, слабые осадки в виде мелкого дождя, мороси, снежной крупы.
172. **Масса воздушная холодная** – масса воздуха, которая движется из холодных районов в теплые и при соприкосновении с земной поверхностью нагревается; при этом появляются облака с ливневыми дождями и грозами. В промежутках между воздушными массами, имеющими различные свойства, образуются сравнительно тонкие промежуточные слои воздуха – воздушные фронты.
173. **Мезоклимат** – промежуточные особенности климата между макроклиматом и микроклиматом.
174. **Мезосфера** – слой атмосферы, расположенный на высоте от 50 до 80 км.
175. **Метель** – сильный холодный ветер, переносящий снег, основная часть которого поднимается с поверхности земли.
176. **Метель верховая** – снегопад при ветре, когда снег переносится в приземном слое воздуха на высоте до 100 м.

177. **Метель низовая** – перенос частиц ранее выпавшего снега при отсутствии снегопада при сильном ветре. Основная масса снега переносится в приземном слое на высоте 1,5-2 м, но некоторая часть снежной массы поднимается до 10-20 м.
178. **Метель общая** – разновидность метелевого режима, характеризующегося сочетанием верховой и низовой метелей. Наблюдается при сильном ветре (более 5 м/с) в процессе снегопада.
179. **Метеорология** – наука, изучающая физическое состояние земной атмосферы, происходящие в ней процессы и явления. Рассматривает состав, плотность, температуру и влажность воздуха, лучистую энергию Солнца, движение и трансформацию воздушных масс, облака, осадки, ураганы, заморозки, засухи и другие явления, которые происходят в воздушной оболочке Земли во взаимодействии с подстилающей поверхностью.
180. **Метеорология синоптическая** – раздел метеорологии, изучающий физические процессы в атмосфере, определяющие условия погоды и ее изменения; учение о погоде и способах ее прогноза.
181. **Микроклимат** – климат небольшой территории, формирующийся под влиянием рельефа, растительности, почвы, водоемов, застройки и других элементов ландшафта.
182. **Морось** – капли осадков диаметром менее 0,5 мм.
183. **Муссон** – сезонная система ветров, обычно наблюдающаяся над Индийским океаном и над Азией и связанная с разностью температур суши и океана.
184. **Наблюдения** – интервал времени с установленной продолжительностью (10 минут), в течение которого определяются значения исследуемых метеорологических характеристик, заканчивающийся точно в установленный срок наблюдений.
185. **Наблюдения актинометрические** – система наблюдений за уровнем солнечной радиации, предусматривающая измерение в сроки: 0 ч 30 мин, 6 ч 30 мин, 9 ч 30 мин, 12 ч 30 мин и 18 ч 30 мин.
186. **Наблюдения метеорологические наземные** – наблюдения, производимые на метеостанциях или метеопостах в непосредственной близости от земной поверхности.
187. **Наблюдения синхронные** – установленная мировой службой погоды система метеорологических наблюдений на Земном шаре; соответствует 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 часу поясного времени Гринвича.
188. **Наблюдения теплобалансовые** – система наблюдений за тепловым режимом атмосферного воздуха и поверхности земли. Предусматривает измерение в сроки: 1, 7, 10, 13, 16 и 19 часов.
189. **Накат снежный** – слой снега на проезжей части автомобильной дороги, уплотненный колесами проезжающих автомобилей.
190. **Налет твердый** – полупрозрачный, белого цвета, тонкий слой из мелких ледяных кристалликов, образующихся на наветренной стороне предметов, имеющих большую массу и гладкую поверхность.
191. **Направление ветра** – основная характеристика ветра, выраженная в градусах (от 0 до 360°) по часовой стрелке или в румбах той части горизонта, откуда дует ветер.
192. **Норма** – многолетнее среднее значение метеорологической величины.
193. **Обеспеченность** – интегральная повторяемость значений климатического параметра ниже или выше их определенных пределов.
194. **Облако** – система капель воды или кристаллов льда или смешанная система из капель и кристаллов, взвешенная в атмосфере на некоторой высоте.
195. **Облако смешанное** – облако, содержащее одновременно все три фазы воды (водяной пар, капли воды и кристаллы льда).
196. **Облачность** – степень покрытия неба облаками.
197. **Объем снегопереноса за зиму** – объем переноса снега за зиму с максимальным за 10-летний период числом часов с общей и низовой метелью. Объемы снегопереноса вычисляются по эмпирической формуле с обеспеченностью около 0,90.
198. **Объем снегопереноса обций** – объем снега, который переносится через заданную точку со всех направлений за определенное время (за зимний период).

199. **Объем снегоприноса** – количество снега, переносимого метелью к дороге (справа и слева).
200. **Однородность метеорологических наблюдений** – реализуемая на определенной территории единая система сбора метеорологической информации, включающая время снятия показаний приборов, критерии состояния, методику записей, первичные и последующие математические обработки полученных результатов. Соблюдение этой системы позволяет сравнивать между собой многолетние данные, полученные в различных точках территорий, находить искомые экспериментальные метеорологические характеристики.
201. **Озон** – трехатомный кислород, обозначаемый O_3 .
202. **Озоносфера** – слой атмосферы, отличающийся высоким содержанием озона.
203. **Окклюзия** – атмосферный фронт, возникающий при наложении холодного фронта на теплый.
204. **Осадки** – твердые или жидкие продукты конденсации водяного пара, выпадающие из облаков в виде дождя или снега в различных видах или осаждающиеся непосредственно из воздуха на поверхность земли и на предметы в виде росы, инея, изморози, гололеда.
205. **Осадки жидкие** – атмосферные осадки в виде обложного дождя, ливневого дождя и мороси.
206. **Осадки ливневые** – атмосферные осадки, отличающиеся внезапностью начала и окончания, кратковременностью и резким колебанием интенсивности.
207. **Осадки морозящие** – атмосферные осадки, выпадающие в виде мелких капель воды или мелких снежных крупинок.
208. **Осадки облачные** – вид атмосферных осадков, выпадающих непрерывно или с короткими перерывами в течение длительного времени без резких колебаний их интенсивности.
209. **Осадки твердые** – атмосферные осадки в виде облачного снега, ливневого снега, облачного мокрого снега, снежной крупы, снежных зерен, ледяной крупы, града и ледяного дождя.
210. **Осадкометр Третьякова** – прибор для измерения осадков, применяемый в настоящее время в сети метеорологических станций.
211. **Палеоклиматология** – учение о климатах в минувшие геологические эпохи Земли.
212. **Пар** – вода в газообразном состоянии.
213. **Пар насыщенный** – пар, давление которого является максимально возможным при данной температуре, так что он уже не может содержать большего числа молекул.
214. **Перенасыщение** – повышение относительной влажности сверх 100 %.
215. **Переохлаждение** – охлаждение ниже обычной точки замерзания данного вещества, не приводящее к изменению его фазового состояния.
216. **Период весенний** – время года, в течение которого среднесуточная температура воздуха находится в пределах от 0 до +15 °С.
217. **Период зимний** – время года, в течение которого устойчивая температура воздуха – ниже 0 °С.
218. **Период летний** – время года, ограниченное датами перехода среднесуточной температуры воздуха через +15 °С.
219. **Период осенний** – время года, в течение которого происходит понижение температуры от +15 до 0 °С, сокращается длительность дня, увеличивается пасмурность, идут частые дожди.
220. **Пиргелиометр** – прибор для измерения количества приходящей солнечной радиации.
221. **Плавуемость** – свойство веществ всплывать в окружающей среде при различной их плотности.
222. **Плотность** – масса единицы объема.
223. **Плотность воздуха** – отношение массы воздуха к его объему. При температуре 0 °С и нормальном давлении 1 м³ воздуха имеет массу 1,293 кг. Плотность воздуха – примерно в 800 раз меньше плотности воды.
224. **Плотность снега** – отношение объема воды, получающегося от растаявшего снега, к объему этого снега до таяния.

225. **Повторяемость** – отношение числа случаев со значениями, входящими в данный интервал, к общему числу членов ряда.
226. **Повторяемость направлений ветра** – характеристика, рассчитанная в процентах от общего числа случаев направлений ветра без учета штилей.
227. **Повторяемость штилей** – показатель, рассчитанный в процентах от общего числа случаев наблюдений.
228. **Погода** – состояние атмосферы над данной территорией и в данное время, определяемое физическими процессами, совершающимися в ней при взаимодействии с подстилающей поверхностью.
229. **Поземка - перенос ветром частиц** ранее выпавшего снега непосредственно по поверхности снежного покрова. При поземке скорость ветра не превышает 2-3 м/с; высота подъема снежинок – до 0,5 м.
230. **Полосы падения** – полосы на фоне небосвода или облаков, образуемые осадками, не доходящими до земной поверхности из-за испарения на пути падения.
231. **Постоянная солнечная¹** – количество солнечной радиации, поступающей за единицу времени на единичную площадку, находящуюся на внешней границе атмосферы при среднем расстоянии Земли от Солнца 149,5 млн. км.
232. **Постоянная солнечная²** – количество солнечной радиации, поступающей за единицу времени на нормальную по отношению к лучам единицу находящейся на внешней границе атмосферы поверхности при среднем расстоянии между Землей и Солнцем. Численное ее значение – 1,353 кВт/м² или 1,98 кал/см² мин.
233. **Поток тепла скрытый** – поток тепла, который выделяется (поглощается) при фазовых переходах воды. При конденсации пара или образовании инея тепло выделяется, а при испарении воды и таянии снега поглощается.
234. **Поток тепла явный** – поток тепла, поступающий на поверхность земли в результате солнечной радиации. Он имеет турбулентный характер и зависит от скорости ветра. Под его влиянием поверхность земли, инженерных сооружений нагревается.
235. **Пояса климатические** – пояса Земли с характерными особенностями климата. Различают арктический, субарктический, умеренный, субтропический, тропический, субэкваториальный, экваториальный пояса.
236. **Прецессия** – изменение положения земной оси в пространстве.
237. **Примеси атмосферные** – зависшие в атмосфере жидкие и твердые частицы, размером превышающие молекулярные. Образуются и поступают в атмосферу при сжигании топлива, в процессе промышленного, строительного и сельскохозяйственного производства и т.п.
238. **Прогноз погоды** – научно обоснованное предположение о ее будущем состоянии. Различают долгосрочные (от нескольких дней до месяца или даже на целый сезон года) и краткосрочные (до трех суток).
239. **Прозрачность атмосферы** – оптическое свойство воздуха, обусловленное степенью насыщения его продуктами конденсации и сублимации водяного пара, взвешенными твердыми частицами неконденсационного происхождения (пыли), промышленными выбросами.
240. **Процесс адиабатический** – процесс, происходящий без теплообмена между рассматриваемой системой и окружающей средой.
241. **Процесс влажноадиабатический** – изменение состояния воздуха, содержащего насыщенный водяной пар.
242. **Психрометр** – прибор для измерения влажности воздуха.
243. **Пустыня** – область с исключительно засушливым климатом.
244. **Равноденствия** – даты (21 марта и 23 сентября), в которые на всей Земле продолжительность дня и ночи одинакова. В полдень этих дат солнце находится в зените точно над экватором.
245. **Радиация** – поток лучистой энергии.
246. **Радиация солнечная** – испускаемый солнцем интегральный поток излучения, который на границе земной атмосферы характеризуется спектром: ультрафиолетовая часть – 5 %, инфракрасная – 43 %, видимая – 52 %, у поверхности земли соответственно 1 %, 59 % и 40 %.

247. **Радиация солнечная прямая** – часть солнечной радиации, поступающая на поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих непосредственно от видимого диска солнца.

248. **Радиация солнечная рассеянная** – часть солнечной радиации, поступающей на поверхность со всего небосвода после рассеяния в атмосфере.

249. **Радиозонд** – комплект метеорологических приборов, поднимаемых воздушным шаром и передающих радиосигналы, отвечающие измеренным на разных высотах значениям метеорологических величин.

250. **Разрыв непрерывности** – скачок значений метеорологических величин в переходной (фронтальной) зоне между двумя разными воздушными массами.

251. **Районирование климатическое** – система деления территории на районы по климатическим условиям, основанная на комплексном сочетании среднемесячной температуры воздуха в январе и июле, средней скорости ветра за три зимних месяца, среднемесячной относительной влажности воздуха в июле.

252. **Рассеяние** – результат взаимодействия лучистой энергии с молекулами и атомами атмосферных газов и частицами примесей.

253. **Режим ветровой** – характер изменения во времени скорости, силы и направления ветра.

254. **Режим климатический** – сравнительно однородные погодные условия определенного широтного пояса или другой географической области.

255. **Режим световой** – система светового воздействия Солнца на землю, включающая время восхода и захода и перемещения по небосводу в течение дня.

256. **Репрезентативность метеорологических наблюдений** – выбор места наблюдений, в котором получаемые метеорологические данные отражали бы погодноклиматические условия рассматриваемого региона.

257. **Ресурсы климатические** – совокупность климатических факторов и условий, благоприятных для развития в пределах данной территории живых организмов, сельского, лесного и других видов хозяйства, а также для поддержания здоровой среды, сохранения и улучшения здоровья человека.

258. **Рефракция** – искривление луча света при прохождении слоев атмосферы, имеющих неодинаковую плотность.

259. **Роза ветров** – графическое изображение повторяемости ветров разных направлений для определенной местности и в определенный период времени, установленной на основании многолетних данных наблюдений. Кроме направлений ветра графически целесообразно показывать повторяемость различных скоростей ветра по направлениям. «Розы ветров» строят месячные, сезонные, годовые.

260. **Роса** – мелкие капли воды, которые образуются в результате конденсации водяного пара в ясные тихие ночи при температуре воздуха выше нуля на поверхности почвы, растений и различных предметов, имеющих температуру ниже температуры воздуха.

261. **Сила барического градиента** (сила давления) – отношение величины горизонтального барического градиента к единице массы воздуха (плотность воздуха ρ)

$$F_P = \frac{I}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

262. **Сила ветра** – давление, которое оказывает воздушный поток на предметы и сооружения, находящиеся на его пути. О силе ветра судят по его скорости и возможным последствиям его действия на земной поверхности. Для визуальной оценки силы ветра используется условная 12-балльная шкала Бофорта. Для обозначения направлений ветра используют 8 румбов (секторов величиной 45°) или 16 румбов (секторов величиной $22,5^\circ$).

263. **Сила Кориолиса** – инерционная сила, вызванная вращением Земли и приводящая к кажущемуся отклонению предметов, движущихся по земной поверхности или над ней, от прямолинейной траектории.

264. **Сила центробежная** – сила, действующая на тело, совершающее криволинейное движение, и направленная по радиусу траектории в сторону от центра или оси вращения.
265. **Синоптик** – специалист, составляющий прогноз погоды на основе изучения атмосферных процессов при помощи синоптических карт или ведущий научно-исследовательскую работу в области синоптической метеорологии.
266. **Сияние полярное** – свечение, создаваемое воздушными атомами атмосферных газов в высоких слоях атмосферы.
267. **Сияние солнечное** – время, в течение которого солнечный диск не закрыт облаками, а прямая солнечная радиация равна или больше $0,1 \text{ кВт/м}^2$ ($0,2 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$).
268. **Скорость ветра по румбам средняя** – величина, установленная путем деления суммы скоростей на сумму случаев с ветром каждого румба.
269. **Скорость вращательная** – скорость вращения тела или отдельной его точки вокруг некоторого центра или оси.
270. **Скорость, максимальная (минимальная) из средних** – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь и минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль – характеристика ветра, рассчитанная как наибольшая из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, и как наименьшая из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16 % и более.
271. **Слой Кеннелли-Херисайда** -слой ионосферы, обозначаемый буквой «E».
272. **Служба прогнозов**– подразделение гидрометеорологической организации, занимающееся разработкой прогнозов гидрометеорологического характера, а также информацией о фактически наблюдавшихся гидрологических и метеорологических условиях.
273. **Смерч водяной** – торнадо над водной поверхностью.
274. **Смог** – загрязнение атмосферы в виде аэрозольной пелены, дыма или тумана, образующихся в результате интенсивного поступления в атмосферу пыли, дыма, выхлопных и промышленных отходов.
275. **Снег** – твердый атмосферный осадок, состоящий из кристаллов различной формы, выпадающих из облаков при температуре воздуха ниже 0°C ; водно-воздушная система, в которой вода одновременно представлена в твердой, жидкой и газообразной фазах.
276. **Снегопад** – атмосферные осадки, которые в твердом виде выпадают из облаков на поверхность земли без сдувания и переноса ветром.
277. **Соленость** – содержание солей в воде естественных водоемов.
278. **Солнцестояния** – даты (21 июня и 21 декабря), в которые солнце в полдень находится в зените точно над тропиком. 21 июня в северном полушарии – самый длинный день, а в южном – самый короткий, 21 декабря – наоборот.
279. **Состояние окружающей среды** – характеристика погодно-климатических условий и результатов антропогенной деятельности в заданном регионе местности. Оказывает влияние на жизнедеятельность людей, развитие биогеоценоза, технологические процессы производства, состояние материалов и сооружений.
280. **Спутник** – естественное или искусственное небесное тело, вращающееся вокруг другого тела.
281. **Сроки наблюдения** – моменты времени, с наступлением которых на всех станциях производятся метеорологические наблюдения по строго разработанным правилам и специальным программам.
282. **Степь** – травянистая равнинная местность, обычно расположенная в полусасушливой климатической области.
283. **Стратопауза** – прослойка, расположенная между стратосферой и мезосферой.
284. **Стратосфера** – слой атмосферы, расположенный непосредственно над тропосферой.
285. **Ступень барическая** – высота, на которую необходимо подняться или спуститься, чтобы атмосферное давление изменилось на единицу его измерения.
286. **Сублимация** – переход твердой фазы (снега) в газообразное состояние (минуя жидкую фазу) и наоборот.

287. *Сутки солнечные действительные* – промежуток времени между моментами двух последовательных одинаковых кульминаций.

288. *Сутки солнечные средние* – промежуток времени между последовательными кульминациями среднего солнца.

289. *Схема наноски* – расположение условных знаков вокруг станции на синоптической карте.

290. *Тайфун* – местное название тропических циклонов, зарождающихся в Южно-Китайском море.

291. *Тело черное* – идеальный источник лучистой энергии, излучение которого является максимально возможным при данной температуре.

292. *Температура* – мера теплосодержания тела.

293. *Температура воздуха* – степень нагретости или характеристика теплового состояния воздуха.

294. *Температура воздуха наиболее жарких суток средняя* – показатель, рассчитанный по среднесуточным значениям температуры воздуха летних месяцев (июнь-август) как средний из наиболее жарких суток за 8 лет. На основе 50%-ной температуры воздуха наиболее жаркого месяца построена схематическая карта постоянной температурой поправки для определения средней температуры воздуха наиболее жарких суток. Обеспеченность этой температуры находится в пределах 0,90 – 0,95.

295. *Температура воздуха наиболее холодного периода средняя* – показатель, вычисленный как средняя температура периода, составляющего 15 % общей продолжительности периода, со средней суточной температурой воздуха, равной и меньше 8 °С, но не более 25 дней.

296. *Температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки* – одна из характеристик климата, рассчитанная по следующей методике:

производится выборка температуры воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки за 30-50 лет;

выбранные данные располагаются в хронологическом, а затем – в убывающем (по абсолютной величине) порядке с присвоением каждой величине порядкового номера;

температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки округляется до 0,5 °С; для каждого интервала определяется средний порядковый номер;

рассчитывается интегральная повторяемость (обеспеченность) по формуле

$$P = 1 - \frac{m_{\text{ср}} - 0,3}{n + 0,4}$$

где P – интегральная повторяемость (обеспеченность) в долях единицы;

$M_{\text{ср}}$ – средний порядковый номер;

n – число членов ряда, равное числу принятых к обработке лет наблюдений;

строятся интегральные кривые распределения температуры воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки в системе координат асимметричной частоты: по оси ординат – логарифмическая шкала температуры воздуха, по оси абсцисс – двойная логарифмическая шкала обеспеченности (кривые строятся до обеспеченности 0,25);

с кривых снимается температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки заданной обеспеченности.

297. *Температура воздуха по месяцам и за год средняя* – характеристика температурного режима отдельных месяцев и всего года с обеспеченностью в среднем 0,5. Показатели обычно рассчитываются за 50-80 лет.

298. *Температура воздуха средняя максимальная наиболее жаркого месяца* – характеристика дневной наиболее теплой части суток; рассчитывается как средняя месячная величина из ежедневных максимальных значений температуры воздуха за рассмотренный период. Обеспеченность этого показателя составляет в среднем 0,5.

299. *Температура максимальная в суточном цикле* – температура, которая наблюдается в интервале 14-15 часов дня.

300. **Температуры воздуха абсолютная минимальная и абсолютная максимальная** – характеристики наименьшего и наибольшего пределов температуры воздуха, выявленных за последние 50-80 лет. Обеспеченность этих показателей близка к единице.
301. **Теплоемкость** – свойство материала поглощать определенное количество теплоты при нагревании и отдавать при охлаждении. Теплоемкость материала чаще всего характеризуется удельной теплоемкостью, представляющей собой количество теплоты, необходимой для нагревания 1 кг данного материала на 1 К (1 °С).
302. **Теплоемкость удельная** – количество тепла, необходимое для нагревания единицы массы данного вещества на 1 °С. Различают теплоемкость массовую (1 г/1 °С) и объемную (1 см³/1 °С).
303. **Теплопроводность** – способность данного материала (вещества) проводить тепло из более нагретой зоны в менее нагретые.
304. **Теплопроводность** – способность материала передавать через свою толщу энергию в форме теплоты при наличии на его поверхности перепада температур. Дорожно-строительные материалы имеют различную теплопроводность, которая характеризуется коэффициентом теплопроводности. Теплопроводность зависит от характера пор и вида материала, его влажности, плотности, средней температуры, при которой происходит передача тепла, и других факторов. Пористые материалы имеют небольшую теплопроводность.
305. **Теплостойкость** – способность материала сохранять в той или иной степени свои прочностные и деформативные свойства при повышении температуры окружающей среды.
306. **Теплота испарения** – энергия, необходимая для перехода жидкого или твердого вещества в газообразное состояние.
307. **Теплота плавления** – энергия, необходимая для перехода твердого вещества в жидкое состояние.
308. **Теплота скрытая** – тепло, выделяемое или поглощаемое при изменении фазового состояния вещества.
309. **Термик** – поднимающаяся порция теплого воздуха.
310. **Термограф** – прибор для непрерывной записи хода температурных изменений.
311. **Термометр** – прибор для измерения температуры. Различают: срочные, максимальные, минимальные, жидкостные (ртутные, спиртовые), металлические (термопары сопротивления, металлические пластины и спирали), полупроводниковые (термисторы), термометры.
312. **Термосфера** – расположенный над мезосферой слой атмосферы, в котором температура возрастает с высотой.
313. **Течение струйное** – узкая полоса сильного западного ветра на высоте.
314. **Топография** – изучение особенностей строения земной поверхности.
315. **Торнадо** – сильнейший разрушительный шквал, имеющий небольшую горизонтальную протяженность.
316. **Точка росы** – температура, при которой в порции воздуха, остающейся при данном давлении, начинается конденсация водяного пара.
317. **Транспирация** – физиологический процесс испарения воды живыми растениями – средство движения растворенных в них веществ вверх по стеблю.
318. **Тропауза** – прослойка, отделяющая тропосферу от стратосферы.
319. **Тропосфера** – слой атмосферы, простирающийся от земной поверхности до высоты 10-20 км, в котором развиваются основные явления погоды.
320. **Туман** – мельчайшие капли воды или кристаллы льда, взвешенные в воздухе у земной поверхности и снижающие дальность горизонтальной видимости до значений менее 1 км. При очень сильном тумане видимость – менее 50 м; сильном – 50-200 м; слабом – до 500-1000 м.
321. **Туманы адвективно-радиационные** – туманы, возникающие под влиянием перемещения теплого воздуха на холодную поверхность и радиационного выхолаживания, т.е. под влиянием двух факторов.
322. **Туманы адвективные** – туманы, возникающие в относительно теплом воздухе, перемещающемся над охлажденной земной подстилающей поверхностью.
323. **Туманы внутримассовые** – туманы, появляющиеся внутри одной и той же массы воздуха.

324. **Туманы испарения** – туманы, появляющиеся вследствие притока водяного пара за счет испарения влаги и последующего охлаждения воздуха.

325. **Туманы охлаждения** – туманы, образующиеся за счет охлаждения воздуха ниже точки росы. Разновидностями этих туманов являются адвективные, адвективно-радиационные, радиационные и туманы склонов.

326. **Туманы склонов** – туманы, возникающие на неровной земной поверхности в результате адиабатического расширения и охлаждения воздуха при подъеме его по склонам гор.

327. **Туманы фронтальные** – туманы, возникающие перед воздушными фронтами при прохождении линии фронта или за фронтом.

328. **Турбулентность** – беспорядочное движение атмосферных вихрей.

329. **Упругость водяного пара** – та часть атмосферного давления, которая создается водяным паром, обладающим, как и всякий газ, некоторой упругостью. Характеризует влагосодержание воздуха. Для перехода к единицам СИ используется соотношение $1 \text{ мб} = 1 \text{ гПа}$.

330. **Уровень конденсации** – высота, на которой водяной пар в адиабатически поднимающемся воздухе становится насыщенным.

331. **Условия метеорологические** – состояние атмосферы, характеризуемое значениями метеорологических элементов в определенный момент или за определенный срок.

332. **Условия погодно-климатические** – совокупность значений метеорологических элементов в данном месте и в данный момент времени, с помощью которых оцениваются внешние факторы, сопутствующие строительству автомобильных дорог или определенному состоянию дороги.

333. **Ущелье ветровое** – направленное движение воздуха, создающееся между высокими зданиями и распространяющееся оттуда на значительное расстояние.

334. **Факторы, определяющие дальность видимости**, – совокупность показателей, обуславливающих видимость объектов: геометрические параметры, освещаемость, цвет, яркость предмета и фона, прозрачность атмосферы.

335. **Фация** – слой снега с определенными физико-механическими свойствами и условиями образования.

336. **Фирн** – снежные образования в виде крупных ледяных зерен при фирнизации снега. Различают фирн мелкозернистый (диаметр ледяных зерен – до 1 мм), среднезернистый (1-2 мм), крупнозернистый (3-5 мм).

337. **Фирнизация** – процесс изменения структуры снежного покрова под влиянием диффузного переноса пара и ветра.

338. **Фирнизация снега** – изменение структуры снежинок под влиянием собственного веса, солнечной радиации, жидких осадков и других внутренних и внешних факторов.

339. **Флюгер** – простейший метеорологический прибор для измерения направления и скорости ветра.

340. **Формы облаков** – классификационные отличия облаков в зависимости от их признаков и внешнего вида. Различают облака перистые, перисто-кучевые, перисто-слоистые, высококучевые, высокослоистые, слоисто-кучевые, слоистые, слоисто-дождевые.

341. **Фронт атмосферный** – наклонная поверхность раздела между двумя различными воздушными массами.

342. **Фронт воздушный теплый** – слой воздуха, образующийся при наступлении массы теплого воздуха на холодную массу.

343. **Фронт воздушный холодный** – слой воздуха, образующийся при наступлении массы холодного воздуха на теплую воздушную массу. При прохождении холодного фронта наблюдаются ливневые осадки, выпадающие в сравнительно узкой полосе.

344. **Циклогенез** – процесс образования циклона.

345. **Циклон** – область пониженного давления с определенной системой ветра. Скорость его движения в среднем составляет 30-40 км/ч.

346. **Циклон волновой** – циркуляция воздуха в атмосферном фронте, зарождающаяся в виде волны.

347. **Часовые пояса** – пояса, на которые разделен Земной шар по меридианам, всего 24 часовых пояса по 15° каждый. Исчисление ведется на восток от нулевого меридиана (Гринвича). Чаще всего выражается в миллибарах на 100 км (мбар/100 км).
348. **Шар-пилот** – прибор для измерения скорости и направления ветра на высоте. Координаты нахождения прибора фиксируются теодолитом.
349. **Шкала Кельвина** – абсолютная температурная шкала.
350. **Шкала Цельсия** – температурная шкала с реперными точками 0° и 100°.
351. **Шквал** – сильный порывистый ветер ($v > 30$ м/с) с быстрыми сменами направления, сопровождающийся интенсивными дождями и ливнями.
352. **Штиль** – состояние атмосферы, при котором скорость перемещения воздуха не превышает 1 м/с.
353. **Шторм тропический** – синоним тропического циклона.
354. **Экватор** – линия сечения Земного шара плоскостью, которая проходит через центр Земли перпендикулярно к оси ее вращения.
355. **Экзосфера** – наивысший (на высоте нескольких сот километров) разреженный слой атмосферы, с которого легкие, весьма подвижные атомы водорода могут вылетать в космическое пространство.
356. **Экстремум** – наивысшее и наинизшее значения некоторой величины или наибольшая и наименьшая интенсивность какого-либо явления.
357. **Элементы климатические** (метеорологические) – характеристики состояния атмосферы (атмосферное давление, температура, влажность воздуха, ветер, осадки, туман, метель, солнечная радиация, общая циркуляция и др.).
358. **Эффект оранжерейный** (парниковый) – воздействие поглощения и излучения радиации атмосферой на температуру земной поверхности и воздуха.
359. **Ядра гигроскопические** – частицы, поглощающие водяной пар и способствующие его конденсации.
360. **Ядра конденсации** – взвешенные в воздухе частицы примесей, с которых начинается конденсация водяного пара.
361. **Ядро Земли** – центральная, наиболее глубокая геосфера Земли с радиусом около 3,5 тыс. км.
362. **Яркость покрытия** – характеристика излучения поверхности, численно равная отношению силы света (в канделах) в каком-либо направлении к проекции светящейся поверхности, перпендикулярной этому направлению.
363. **Ярус облаков** – высота, отделяющая определенный вид облаков в пространстве: верхний – выше 3000 м; средний – 2000 – 3000 м; нижний – до 2000 м.

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО СТАНЦИЯМ
И ОБЛАСТЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Таблица П 1.1

Климатические параметры холодного периода года

Область, пункт	Температура воздуха, °С						Сумма отрицательн ых средних месячных температур
	абсолютная минимал ная	наиболее холодных суток обеспеченность ю		наиболее холодной пятидневки обеспеченность ю		холодного периода обеспеченность ью	
		0,98	0,92	0,98	0,92	0,94	
1	2	3	4	5	6	7	8
Витебская область							
Езерище	-40	-	-	-	-	-	-24,4
Верхнедвинск	-40	-35	-30	-29	-25	-11,0	-21,2
Полоцк	-39	-35	-30	-29	-25	-11,5	-21,2
Шарковщина	-40	-35	-30	-29	-24	-11,5	-20,2
Витебск	-41	-36	-31	-30	-25	-12,0	-23,2
Лынтупы	-40	-	-	-	-	-	-19,5
Докшицы	-41	-	-	-	-	-	-21,5
Лепель	-40	-34	-29	-29	-24	-	-20,8
Сенно	-40	-	-	-	-	-	-22,0
Орша	-39	-	-	-	-	-	-23,4
Минская область							
Вилейка	-37	-32	-28	-27	-24	-	-18,1
Борисов	-41	-33	-29	-28	-24	-	-19,5
Воложин	-34	-	-	-	-	-	-18,6
Минск	-39	-33	-28	-28	-24	-10,0	-19,4
Березино	-40	-	-	-	-	-	-19,2
Столбцы	-39	-	-	-	-	-	-17,4
Марьина	-39	-32	-27	-27	-24	-11,0	-18,8
Горка							
Слуцк	-36	-	-	-	-	-	-16,9
Гродненская область							
Ошмяны	-32	-	-	-	-	-	-18,5
Лида	-35	-31	-26	-26	-22	-9,0	-15,5
Гродно	-36	-31	-26	-25	-22	-8,5	-12,7
Новогрудок	-34	-30	-26	-25	-21	-10,0	-18,0
Волковыск	-38	-31	-26	-24	-21	-	-12,7
Могилевская область							
Горки	-40	-35	-30	-29	-26	-12,5	-25,4
Могилев	-37	-34	-29	-28	-24	-11,5	-21,8
Кличев	-37	-	-	-	-	-	-19,7
Славгород	-37	-33	-29	-28	-24	-	-21,9

Костюкови чи	-38	-	-	-	-	-	-23,6
Бобруйск	-37	-32	-28	-26	-23	-	-18,6
Брестская область							
Барановичи	-35	-30	-26	-26	-22	-	-16,4
Ганцевичи	-38	-	-	-	-	-	-14,8
Ивацевичи	-38	-	-	-	-	-	-13,7
Пружаны	-38	-31	-27	-25	-22	-	-12,4
Высокое	-33	-	-	-	-	-	-11,2
Полесский	-35	-	-	-	-	-	-14,0
Брест	-36	-30	-25	-24	-21	-7,0	-9,8
Пинск	-35	-30	-25	-24	-21	-8,5	-12,6
Гомельская область							
Жлобин	-38	-32	-28	-27	-24	-	-19,0
Чечерск	-36	-	-	-	-	-	-20,5
Октябрь	-37	-	-	-	-	-	-17,4
Гомель	-35	-32	-28	-28	-24	-10,5	-18,7
Василевичи	-36	-30	-27	-26	-23	-10,0	-16,9
Житковичи	-37	-30	-27	-26	-22	-	-14,6
Мозырь	-34	-	-	-	-	-	-15,9
Лельчицы	-36	-	-	-	-	-	-14,3
Брагин	-35	-30	-27	-26	-22	-10,5	-17,3

Продолжение табл. П 1.1

Область, пункт	Средние продолжительность, сут, и температура воздуха, °С, периодов со средней суточной температурой воздуха, °С, не выше					
	0		8		10	
	Продолжител ьность	Темпера тура	Продолжител ьность	Температ ура	Продолжител ьность	Темпера тура
	1	2	3	4	5	6	7
Витебская область						
Езерище	138	-5,4	209	-2,2	228	-1,3
Верхнедв инск	133	-4,9	207	-1,7	225	-0,9
Полоцк	133	-5,0	207	-1,8	225	-0,9
Шарковщ ина	131	-4,8	206	-1,6	224	-0,7
Витебск	135	-5,3	207	-2,1	225	-1,2
Лынтупы	132	-4,6	207	-1,5	226	-0,6
Докшицы	135	-4,9	208	-1,8	227	-0,9
Лепель	133	-4,9	204	-1,8	223	-0,9
Сенно	133	-5,1	204	-2,0	223	-1,0

Орша	135	-5,3	206	-2,1	223	-1,3
Минская область						
Вилейка	127	-4,4	201	-1,4	220	-0,5
Борисов	129	-4,7	203	-1,5	220	-0,7
Воложин	128	-4,5	203	-1,4	220	-0,6
Минск	131	-4,6	202	-1,6	221	-0,7
Березино	128	-4,7	201	-1,6	218	-0,7
Столбцы	126	-4,3	201	-1,2	218	-0,4
Марьина	127	-4,6	202	-1,4	219	-0,6
Горка						
Слуцк	122	-4,3	197	-1,2	216	-0,3
Гродненская область						
Ошмяны	127	-4,5	204	-1,3	223	-0,4
Лида	120	-4,0	198	-0,9	217	0,0
Гродно	113	-3,5	194	-0,5	213	0,4
Новогруд ок	129	-4,3	203	-1,3	222	-0,4
Волковыс к	113	-3,5	193	-0,4	212	0,5
Могилевская область						
Горки	139	-5,6	208	-2,4	226	-1,5
Могилев	132	-5,1	204	-1,9	220	-1,1
Кличев	128	-4,8	200	-1,6	218	-0,7
Славгоро д	132	-5,2	202	-2,0	219	-1,1
Костюков ичи	134	-5,4	203	-2,2	219	-1,4
Бобруйск	126	-4,6	198	-1,5	216	-0,6
Брестская область						
Баранови чи	123	-4,1	196	-1,1	214	-0,3
Ганцевич и	118	-3,9	196	-0,8	215	0,1
Ивацевич и	116	-3,7	192	-0,7	211	0,2
Пружаны	112	-3,5	193	-0,4	211	0,4

Высокое	107	-3,3	190	-0,2	209	0,7
Полесский	117	-3,8	193	-0,8	212	0,1
Брест	100	-3,1	186	0,1	206	1,0
Пинск	113	-3,6	190	-0,5	208	0,3
Гомельская область						
Жлобин	126	-4,7	197	-1,5	213	-0,7
Чечерск	128	-5,0	198	-1,8	215	-1,0
Октябрь	122	-4,4	196	-1,3	214	-0,4
Гомель	125	-4,7	194	-1,6	211	-0,7
Василевичи	121	-4,4	194	-1,2	212	-0,3
Житковичи	116	-4,0	193	-0,8	211	0,0
Мозырь	119	-4,2	192	-1,1	210	-0,2
Лельчицы	114	-4,0	192	-0,7	210	0,1
Брагин	120	-4,5	195	-1,3	212	-0,4

Продолжение табл. П 1.1

Область, пункт	Среднее число дней с оттепелью за декабрь-февраль	Средняя месячная относительная влажность, %		Среднее количество осадков за ноябрь-март	Среднее месячное атмосферное давление на высоте установки барометра за январь, ГПа
		в 15 ч наиболее холодного месяца (января)	за отопительный период		
1	2	3	4	5	6
Витебская область					
Езерище	29	80	82	206	-
Верхнедвинск	33	82	84	190	999,5
Полоцк	33	82	83	202	999,5
Шарковщина	34	83	84	181	999,8
Витебск	29	80	83	202	995,1
Лынтупы	32	84	85	238	-
Докшицы	32	81	83	190	-
Лепель	32	81	83	212	-
Сенно	30	81	83	182	994,9
Орша	29	82	84	188	994,0
Минская область					
Вилейка	34	83	84	193	-
Борисов	33	82	84	219	-
Воложин	31	84	84	221	-

Минск	34	81	83	228	988,1
Березино	34	80	84	215	-
Столбцы	39	83	84	201	-
Марьино Горка	34	83	85	185	995,9
Слуцк	37	82	84	197	-
Гродненская область					
Ошмяны	34	84	85	188	-
Лида	39	83	84	207	997,1
Гродно	44	83	85	186	999,9
Новогрудок	30	86	86	250	982,0
Волковыск	42	82	83	186	-
Могилевская область					
Горки	27	84	85	205	991,0
Могилев	30	82	84	217	993,7
Кличев	33	80	83	199	-
Славгород	31	81	83	208	997,1
Костюковичи	30	80	84	194	-
Бобруйск	35	81	83	185	-
Брестская область					
Барановичи	38	83	85	194	-
Ганцевичи	42	80	83	217	-
Ивацевичи	42	82	84	196	-
Пружаны	44	82	85	184	-
Высокое	47	82	84	175	-
Полесский	43	80	83	212	-
Брест	48	80	83	185	999,3
Пинск	43	81	83	186	1001,1
Гомельская область					
Жлобин	36	80	83	191	1000,2
Чечерск	32	80	83	214	-
Октябрь	38	81	83	190	-
Гомель	36	80	82	194	1002,7
Василевичи	39	79	82	198	1001,0
Житковичи	42	78	81	203	-
Мозырь	38	78	82	192	-
Лельчицы	43	78	82	181	1000,5
Брагин	37	81	84	170	1004,2

Продолжение табл. П 1.1

Область, пункт	Ветер			
	преобладающее направление за декабрь-февраль	средняя скорость за отопительный период, м/с	максимальная из средних скоростей по румбам в январе, м/с	среднее число дней со скоростью ≥ 10 м/с при отрицательной температуре воздуха
1	2	3	4	5
Витебская область				
Езерище	ЮЗ	3,7	-	-
Верхнедвинск	ЮВ	3,6	3,8	1
Полоцк	Ю	3,8	4,1	<1
Шарковщина	ЮЗ	4,2	4,7	3

Витебск	Ю	4,3	4,8	4
Лынтупы	Ю	3,0	-	-
Докшицы	Ю	4,3	-	-
Лепель	Ю	3,1	2,9	<1
Сенно	Ю	4,0	-	-
Орша	Ю	4,0	-	-
Минская область				
Вилейка	ЮЗ	3,4	3,9	<1
Борисов	ЮЗ	3,7	3,8	1
Воложин	ЮВ	4,0	-	-
Минск	Ю	3,9	3,7	<1
Березино	Ю	3,2	-	-
Столбцы	ЮВ	3,1	-	-
Марьино Горка	ЮВ	4,3	4,3	2
Слуцк	ЮВ	4,2	-	-
Гродненская область				
Ошмяны	ЮЗ	4,0	-	-
Лида	Ю	3,8	4,0	<1
Гродно	З	4,1	5,6	5
Новогрудок	ЮЗ	4,7	5,6	13
Волковыск	ЮВ	3,9	4,5	2
Могилевская область				
Горки	Ю	4,4	5,3	13
Могилев	Ю	4,4	4,7	9
Кличев	ЮВ, Ю	3,3	-	-
Славгород	Ю	4,1	4,4	6
Костюковичи	ЮЗ	4,1	-	-
Бобруйск	ЮЗ	3,7	3,9	3
Брестская область				
Барановичи	Ю	4,3	4,8	2
Ганцевичи	ЮВ	3,2	-	-
Ивацевичи	ЮЗ	3,1	-	-
Пружаны	ЮЗ	3,6	3,2	<1
Высокое	ЮЗ	3,8	-	-
Полесский	З	-	-	-
Брест	ЮЗ	3,4	3,7	<1
Пинск	З	4,2	5,1	5
Гомельская область				
Жлобин	Ю	3,5	3,6	<1
Чечерск	Ю	3,7	-	-
Октябрь	З	3,7	-	-
Гомель	Ю	3,9	4,0	1
Василевичи	Ю	3,2	3,7	<1
Житковичи	З	3,2	3,3	<1
Мозырь	ЮВ	3,5	-	-
Лельчицы	З	3,4	-	-
Брагин	ЮВ	3,7	4,9	6

Климатические параметры теплого периода года

Область, пункт	Атмосферное давление на высоте установки барометра, г-Па		Высота барометра над уровнем моря, м	Температура воздуха обеспеченностью, °С			
	среднее месячное за июль	среднее за год		0,95	0,96	0,98	0,99
1	2	3	4	5	6	7	8
Витебская область							
Езерице	-	-	-	-	-	-	-
Верхнедвинск	996,9	998,7	132,3	21,0	21,5	24,0	25,5
Полоцк	996,8	998,7	132,5	21,0	22,0	24,0	26,0
Шарковщина	997,2	998,9	131,0	21,0	22,0	23,5	25,5
Витебск	991,9	993,8	175,8	21,0	22,0	23,5	25,0
Лынтупы	-	-	-	-	-	-	-
Докшицы	-	-	-	-	-	-	-
Лепель	-	-	-	-	-	-	-
Сенно	991,9	993,9	175,5	-	-	-	-
Орша	990,7	992,8	185,1	-	-	-	-
Минская область							
Вилейка	-	-	-	-	-	-	-
Борисов	-	-	-	-	-	-	-
Воложин	-	-	-	-	-	-	-
Минск	986,0	987,5	231,3	21,0	22,0	24,0	25,5
Березино	-	-	-	-	-	-	-
Столбцы	-	-	-	-	-	-	-
Марьино Горка	992,5	994,3	177,1	22,0	22,5	25,0	26,0
Слуцк	-	-	-	-	-	-	-
Гродненская область							
Ошмяны	-	-	-	-	-	-	-
Лида	994,8	996,2	156,6	21,0	22,0	24,0	26,0
Гродно	997,6	998,9	134,4	22,0	23,0	25,0	26,5
Новогрудок	980,8	981,8	280,2	20,5	21,0	23,0	24,5
Волковыск	-	-	-	-	-	-	-
Могилевская область							
Горки	988,3	990,6	205,1	21,5	22,0	24,0	25,0
Могилев	990,3	992,5	192,5	21,5	22,5	24,5	26,0
Кличев	-	-	-	-	-	-	-
Славгород	992,9	995,5	169,5	-	-	-	-
Костюковичи	-	-	-	-	-	-	-
Бобруйск	-	-	-	-	-	-	-
Брестская область							
Барановичи	-	-	-	-	-	-	-
Ганцевичи	-	-	-	-	-	-	-
Ивацевичи	-	-	-	-	-	-	-
Пружаны	-	-	-	-	-	-	-
Высокое	-	-	-	-	-	-	-
Полесский	-	-	-	-	-	-	-
Брест	996,8	998,3	145,9	22,5	23,5	25,5	27,0
Пинск	996,7	998,5	142,1	22,0	23,0	25,0	26,5

Гомельская область							
Жлобин	996,2	998,8	141,8	-	-	-	-
Чечерск	-	-	-	-	-	-	-
Октябрь	-	-	-	-	-	-	-
Гомель	997,9	1000,8	126,3	22,5	23,0	25,0	27,0
Василевичи	996,6	999,2	142,4	22,5	23,5	25,5	27,0
Житковичи	-	-	-	-	-	-	-
Мозырь	-	-	-	-	-	-	-
Лельчицы	996,4	-	-	-	-	-	-
Брагин	999,2	-	-	23,0	23,5	25,5	27,0

Продолжение табл. П 1.2

Область, пункт	Температура воздуха, °С		Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца (июля), %	Среднее количество (сумма) осадков за апрель- октябрь, мм
	средняя максимальная наиболее теплого месяца года (июля)	абсолютная максимальная		
1	2	3	4	5
Витебская область				
Езерище	22	35	62	468
Верхнедвинск	23	35	61	443
Полоцк	23	34	60	460
Шарковщина	23	35	60	438
Витебск	23	35	61	463
Лынтупы	22	35	61	503
Докшицы	23	35	59	474
Лепель	23	34	60	473
Сенно	23	35	61	453
Орша	23	35	60	468
Минская область				
Вилейка	23	35	59	463
Борисов	23	35	58	473
Воложин	23	34	60	482
Минск	23	35	58	470
Березино	24	36	58	469
Столбцы	24	36	57	434
Марьино Горка	24	36	58	446
Слуцк	24	36	58	428
Гродненская область				
Ошмяны	23	34	61	457
Лида	23	35	58	453
Гродно	24	36	57	410
Новогрудок	22	34	63	519
Волковыск	24	36	58	446
Могилевская область				
Горки	23	36	59	462
Могилев	23	36	58	459
Кличев	23	36	58	454
Славгород	24	35	59	437
Костюковичи	24	37	59	441

Бобруйск	24	36	58	446
Брестская область				
Барановичи	24	36	58	473
Ганцевичи	24	35	58	470
Ивацевичи	24	35	56	455
Пружаны	24	36	57	445
Высокое	24	36	58	412
Полесский	24	36	58	456
Брест	24	37	56	423
Пинск	24	36	58	431
Гомельская область				
Жлобин	24	36	57	449
Чечерск	24	35	58	464
Октябрь	24	36	57	472
Гомель	24	38	55	436
Василевичи	25	38	57	456
Житковичи	24	36	56	452
Мозырь	25	37	55	447
Лельчицы	25	38	55	427
Брагин	24	37	58	396

Продолжение табл. П 1.2

Область, пункт	Суточный максимум осадков за год, мм		Преобладающее направление ветра (румбы) за июнь-август
	средний из максимальных	наибольший из максимальных	
1	2	3	4
Витебская область			
Езерище	35	71	ЮЗ
Верхнедвинск	35	102	З
Полоцк	34	76	З
Шарковщина	37	88	З
Витебск	35	107	З
Лынтупы	41	80	З
Докшицы	40	88	З
Лепель	38	84	З
Сенно	38	113	З
Орша	37	101	СЗ
Минская область			
Вилейка	35	59	З
Борисов	35	69	З
Воложин	36	95	З
Минск	37	74	СЗ
Березино	37	74	З
Столбцы	34	91	З
Марьино Горка	35	80	СЗ
Слуцк	33	67	З
Гродненская область			
Ошмяны	37	74	З
Лида	40	99	СЗ
Гродно	38	110	З
Новогрудок	41	126	З

Волковыск	37	77	СЗ
Могилевская область			
Горки	35	97	З, СЗ
Могилев	33	74	З
Кличев	35	80	СЗ
Славгород	35	64	З
Костюковичи	34	69	СЗ
Бобруйск	40	146	З
Брестская область			
Барановичи	42	120	З
Ганцевичи	37	143	З
Ивацевичи	35	63	СЗ
Пружаны	39	91	СЗ
Высокое	37	71	З
Полесский	38	64	З
Брест	40	86	З
Пинск	36	77	З
Гомельская область			
Жлобин	35	75	З
Чечерск	38	98	З
Октябрь	40	93	З
Гомель	38	90	СЗ
Василевичи	37	99	З
Житковичи	40	115	З
Мозырь	42	91	СЗ
Лельчицы	38	81	З
Брагин	34	77	З

Продолжение табл. П 1.2

Область, пункт	Максимальная за год интенсивность осадков в течение 20 мин, м/мин		Минимальная из средних скоростей ветра по румбам в июле, м/с	Повторяемость штилей за год, %
	средняя из максимальных	наибольшая из максимальных		
1	2	3	4	5
Витебская область				
Езерище	-	-	-	3
Верхнедвинск	0,68	1,70	2,9	9
Полоцк	0,66	1,52	2,9	5
Шарковщина	-	-	3,3	5
Витебск	0,70	1,41	3,1	7
Лынтупы	-	-	-	8
Докшицы	-	-	-	9
Лепель	-	-	2,3	9
Сенно	0,65	1,27	-	5
Орша	0,62	1,46	-	7
Минская область				
Вилейка	-	-	2,6	7
Борисов	0,58	1,07	2,6	4
Воложин	-	-	-	6
Минск	0,74	2,18	2,6	5
Березино	-	-	-	7
Столбцы	-	-	-	5

Марьина Горка	-	-	3,3	6
Слуцк	0,65	1,30	-	5
Гродненская область				
Ошмяны	-	-	-	5
Лида	0,86	1,79	3,0	5
Гродно	0,57	0,96	0,0	16
Новогрудок	0,76	1,94	3,1	6
Волковыск	0,70	1,42	3,3	5
Могилевская область				
Горки	0,73	1,38	3,1	3
Могилев	-	-	3,7	9
Кличев	-	-	-	3
Славгород	-	-	3,4	5
Костюковичи	0,55	0,90	-	7
Бобруйск	0,85	2,24	3,2	7
Брестская область				
Барановичи	-	-	3,3	4
Ганцевичи	-	-	-	9
Ивацевичи	-	-	-	7
Пружаны	0,87	1,64	2,5	10
Высокое	-	-	-	2
Полесский	-	-	-	-
Брест	0,71	1,33	2,9	6
Пинск	0,70	1,51	3,6	7
Гомельская область				
Жлобин	-	-	2,8	7
Чечерск	-	-	-	10
Октябрь	-	-	-	7
Гомель	0,73	1,11	3,4	9
Василевичи	0,77	1,69	0,0	10
Житковичи	-	-	2,6	9
Мозырь	0,74	2,22	-	10
Лельчицы	-	-	-	7
Брагин	-	-	0,0	10

Таблица П 1.3

Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Витебская область													
Езерище	-8,1	-7,4	-3,1	4,6	12,0	15,5	17,3	15,8	10,8	5,2	-0,5	-5,3	4,7
Верхнедвинск	-7,3	-6,8	-2,6	4,9	12,1	15,6	17,3	16,0	11,1	5,6	0,1	-4,5	5,1
Полоцк	-7,3	-6,8	-2,5	5,0	12,3	15,8	17,5	16,1	11,1	5,5	0,0	-4,6	5,2
Шарковщина	-7,1	-6,4	-2,4	4,9	12,3	15,7	17,6	16,2	11,4	5,8	0,4	-4,3	5,3
Витебск	-7,9	-7,2	-2,7	5,1	12,6	16,0	17,8	16,2	11,1	5,3	-0,3	-5,1	5,1
Лынтупы	-6,7	-6,3	-2,3	4,8	11,9	15,2	17,0	15,6	11,0	5,7	0,2	-4,2	5,2
Докшицы	-7,3	-6,9	-2,9	4,6	12,1	15,3	17,0	15,6	10,9	5,5	0,0	-4,4	5,0
Лепель	-7,3	-6,6	-2,3	5,2	12,6	16,0	17,7	16,2	11,4	5,7	0,0	-4,6	5,3

Сенно	-7,6	-6,9	-2,5	5,2	12,6	16,0	17,6	16,2	11,4	5,6	-0,1	-4,9	5,2
Орша	-7,9	-7,3	-2,8	5,0	12,5	16,0	17,7	16,2	11,3	5,3	-0,3	-5,1	5,1
Минская область													
Вилейка	-6,6	-5,9	-1,7	5,5	12,7	15,9	17,6	16,2	11,6	6,1	0,5	-3,9	5,7
Борисов	-7,0	-6,2	-1,8	5,7	12,9	16,3	17,9	16,5	11,6	5,7	0,2	-4,5	5,6
Воложин	-6,7	-6,0	-1,8	5,4	12,6	15,7	17,3	16,1	11,6	5,9	0,4	-4,1	5,5
Минск	-6,9	-6,2	-2,0	5,5	12,7	16,0	17,7	16,3	11,6	5,8	0,2	-4,3	5,5
Березино	-6,9	-6,2	-1,7	5,9	13,1	16,5	17,9	16,5	11,7	5,8	0,2	-4,4	5,7
Столбцы	-6,4	-5,6	-1,5	5,8	12,8	16,0	17,7	16,3	11,8	6,2	0,7	-3,9	5,8
Марьина Горка	-6,9	-6,0	-1,7	5,7	12,8	16,1	17,7	16,4	11,7	6,0	0,5	-4,2	5,7
Слуцк	-6,3	-5,6	-1,3	6,2	13,1	16,1	17,8	16,6	12,1	6,4	0,9	-3,7	6,0
Гродненская область													
Ошмяны	-6,5	-6,0	-2,0	5,1	12,2	15,3	16,9	15,7	11,4	5,9	0,6	-4,0	5,4
Лида	-5,8	-5,2	-1,2	6,0	12,7	16,0	17,4	16,5	12,0	6,5	1,2	-3,3	6,1
Гродно	-5,1	-4,4	-0,5	6,3	12,9	16,1	17,8	16,7	12,5	7,0	1,7	-2,7	6,5
Новогрудок	-6,5	-5,7	-1,7	5,3	12,2	15,4	17,2	16,0	11,7	6,0	0,3	-4,1	5,5
Волковыск	-5,0	-4,4	-0,3	6,6	13,2	16,4	17,9	16,8	12,5	7,1	1,8	-2,7	6,7
Могилевская область													
Горки	-8,3	-7,8	-3,3	4,8	12,4	15,9	17,6	16,1	11,0	5,1	-0,6	-5,4	4,8
Могилев	-7,6	-6,9	-2,3	5,5	12,9	16,3	18,0	16,5	11,6	5,4	-0,1	-4,9	5,4
Кличев	-7,0	-6,4	-1,9	5,9	13,2	16,4	17,9	16,5	11,8	6,0	0,4	-4,4	5,7
Славгород	-7,6	-7,0	-2,3	5,8	13,3	16,6	18,2	16,8	11,7	5,5	-0,1	-4,9	5,5
Костюковичи	-8,0	-7,5	-2,8	5,6	13,2	16,5	18,2	16,8	11,6	5,4	-0,3	-5,0	5,3
Бобруйск	-6,8	-6,0	-1,6	6,1	13,2	16,5	18,0	16,8	12,1	6,3	0,6	-4,2	5,9
Брестская область													
Барановичи	-6,2	-5,3	-1,3	6,1	13,1	16,3	17,8	16,8	12,4	6,6	0,9	-3,6	6,1
Ганцевичи	-5,8	-4,9	-0,9	6,4	13,1	16,3	17,8	16,5	12,1	6,5	1,3	-3,2	6,3
Ивацевичи	-5,5	-4,6	-0,7	6,7	13,4	16,5	18,0	17,0	12,6	7,0	1,5	-2,9	6,6
Пружаны	-5,2	-4,4	-0,3	6,6	13,2	16,4	18,1	16,9	12,8	7,1	1,8	-2,5	6,7
Высокое	-4,8	-4,0	0,2	6,9	13,5	16,5	18,2	17,1	13,0	7,4	2,2	-2,4	7,0
Полесский	-5,6	-4,7	-0,5	6,9	13,5	16,5	17,9	16,7	12,2	6,6	1,3	-3,2	6,5
Брест	-4,5	-3,5	0,7	7,3	13,6	16,7	18,4	17,4	13,3	7,7	2,6	-1,8	7,3
Пинск	-5,3	-4,3	-0,2	7,2	13,8	16,9	18,3	17,2	12,9	7,1	1,7	-2,8	6,9
Гомельская область													
Жлобин	-7,0	-6,2	-1,7	6,4	13,9	16,9	18,3	17,1	12,3	6,3	0,7	-4,1	6,1
Чечерск	-7,5	-6,5	-2,0	6,1	13,7	16,7	18,2	17,0	12,2	6,1	0,4	-4,5	5,8
Октябрь	-6,6	-5,7	-1,3	6,4	13,5	16,7	18,0	16,9	12,2	6,5	0,9	-3,8	6,2
Гомель	-7,0	-6,1	-1,5	6,6	13,9	17,0	18,5	17,4	12,5	6,5	0,7	-4,1	6,2
Василевичи	-6,6	-5,6	-1,0	6,8	13,9	17,0	18,4	17,2	12,4	6,6	1,0	-3,7	6,4
Житковичи	-6,0	-4,8	-0,5	6,8	13,8	16,8	18,3	17,0	12,5	6,8	1,4	-3,3	6,6
Мозырь	-6,3	-5,3	-0,8	6,9	14,0	17,1	18,5	17,4	12,7	6,8	1,2	-3,5	6,6
Лельчицы	-5,9	-4,9	-0,3	7,0	14,0	17,0	18,4	17,2	12,6	6,9	1,6	-3,2	6,7
Брагин	-6,7	-5,8	-1,1	6,7	13,9	17,0	18,5	17,2	12,4	6,4	1,0	-3,7	6,3

Таблица П 1.4

Средняя за месяц и за год амплитуда температуры воздуха, °С

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Витебская область													
Езерище	6,4	7,3	8,5	9,0	11,2	11,2	10,6	10,3	9,0	6,3	4,4	5,1	8,3
Верхнедвинск	6,4	7,2	8,5	9,1	11,4	11,3	10,8	10,7	9,4	6,6	4,5	5,0	8,4
Полоцк	6,3	7,3	8,5	9,2	11,5	11,1	10,9	10,6	9,3	6,8	4,7	5,1	8,4
Шарковщина	6,2	6,8	7,9	8,6	11,1	10,9	10,6	10,4	9,1	6,8	4,5	4,8	8,1
Витебск	6,2	6,8	7,6	8,8	10,8	10,7	10,3	10,1	8,8	6,4	4,4	5,0	8,0
Лынтупы	6,0	6,7	7,9	8,9	11,4	11,1	10,3	9,9	9,1	6,5	4,1	4,9	8,1
Докшицы	6,2	7,1	8,2	8,8	11,4	11,1	10,8	10,7	9,1	6,8	4,5	4,9	8,3
Лепель	6,0	6,6	7,8	8,7	10,5	10,2	9,9	9,8	8,7	6,5	4,6	4,8	7,8
Сенно	6,1	6,9	7,4	8,5	10,5	10,5	9,8	10,0	8,4	6,1	4,2	5,0	7,8
Орша	6,0	6,8	7,6	8,5	11,0	10,7	10,3	10,3	9,1	6,4	4,3	4,9	8,0
Минская область													
Вилейка	6,3	6,9	7,8	9,2	11,6	11,5	11,0	10,6	9,6	7,1	4,6	5,0	8,4
Борисов	6,2	7,0	7,7	9,3	11,4	11,0	10,8	10,6	9,8	7,2	4,7	5,2	8,4
Воложин	5,9	6,0	6,6	8,1	10,1	10,0	9,8	9,3	8,7	6,3	4,0	4,5	7,4
Минск	6,2	6,6	7,3	8,9	11,0	10,6	10,3	10,1	9,2	6,6	4,3	4,7	8,0
Березино	6,7	7,2	7,9	9,2	11,6	11,4	11,1	10,9	10,0	7,4	4,6	4,9	8,6
Столбцы	5,6	6,4	7,2	9,6	11,4	10,9	10,8	11,2	9,4	7,3	4,5	4,9	8,3
Марьино Горка	6,6	7,5	7,9	9,2	11,6	11,4	11,4	11,3	10,3	7,5	4,7	4,7	8,7
Слуцк	6,4	7,4	7,6	9,0	11,5	11,3	11,3	11,2	10,5	7,7	4,7	4,7	8,6
Гродненская область													
Ошмяны	5,7	6,5	7,4	8,8	11,1	10,6	10,3	10,6	9,1	6,8	4,4	4,9	8,0
Лида	5,9	6,6	7,7	9,5	11,5	11,0	10,9	10,7	10,2	7,2	4,5	4,8	8,4
Гродно	5,7	6,3	7,2	9,4	11,0	10,8	10,6	10,1	9,4	7,3	4,3	4,5	8,1
Новогрудок	5,4	5,8	7,2	8,0	9,7	9,4	9,1	8,6	8,2	6,3	4,2	4,4	7,2
Волковыск	5,4	6,4	6,9	9,4	11,2	11,0	11,0	10,4	9,6	7,2	4,7	4,7	8,2
Могилевская область													
Горки	6,3	7,0	7,4	8,5	11,0	10,8	10,6	10,5	9,4	6,7	4,6	5,1	8,2
Могилев	6,4	7,0	7,7	8,8	11,1	10,8	10,8	10,7	9,7	7,0	4,9	5,3	8,4
Кличев	6,5	7,2	7,8	9,5	11,9	11,4	11,0	11,4	9,9	7,5	4,8	5,3	8,7
Славгород	6,1	7,1	7,6	8,6	11,2	11,0	10,6	10,6	10,4	7,1	4,8	5,1	8,4
Костюковичи	6,5	7,5	7,8	8,8	11,5	11,5	11,1	11,3	10,1	7,2	4,9	5,2	8,6
Бобруйск	6,4	7,1	7,7	9,2	11,2	11,2	11,2	11,0	10,0	7,5	4,7	4,9	8,5
Брестская область													
Барановичи	5,6	6,6	6,8	8,7	10,7	10,9	10,9	10,5	9,4	7,1	4,5	4,4	8,0
Ганцевичи	6,4	7,5	8,2	9,8	12,1	12,2	12,0	11,7	10,9	8,4	4,8	4,8	9,1
Ивацевичи	6,0	7,0	7,8	9,4	11,3	11,5	11,2	11,0	10,2	7,8	4,6	4,6	8,5
Пружаны	5,8	6,7	7,7	9,5	11,1	11,3	11,3	10,8	10,1	8,0	4,7	4,6	8,5
Высокое	5,6	6,4	7,4	9,2	10,9	11,0	10,8	10,5	10,0	7,8	4,7	4,4	8,2
Полесский	6,4	7,4	8,1	9,8	12,0	12,3	12,4	12,4	11,6	9,1	5,4	4,9	9,3
Брест	5,5	6,3	7,4	9,4	10,8	10,9	10,8	10,4	9,7	7,8	4,7	4,5	8,2
Пинск	6,0	6,7	7,1	8,7	10,7	11,3	11,1	11,0	10,4	8,2	5,0	4,6	8,4
Гомельская область													
Жлобин	6,4	7,1	7,3	8,8	11,0	11,1	10,9	11,1	10,4	7,8	5,0	5,1	8,5
Чечерск	6,4	6,9	7,3	8,4	11,1	11,0	10,6	10,6	10,1	7,4	4,7	4,9	8,3

Октябрь	6,7	7,2	8,1	10,2	12,5	11,9	11,6	12,0	10,8	8,3	5,3	5,4	9,2
Гомель	6,3	6,8	7,2	8,6	11,0	10,8	10,5	10,7	10,2	7,8	5,0	5,0	8,3
Василевичи	6,5	7,3	7,6	9,4	11,9	11,8	11,8	11,8	10,8	8,3	5,2	5,1	9,0
Житковичи	6,6	7,5	8,2	9,8	12,1	12,0	11,6	11,6	11,0	8,5	5,3	5,1	9,1
Мозырь	6,7	7,2	8,0	10,1	11,8	11,2	10,9	11,4	10,1	8,0	5,3	5,4	8,8
Лельчицы	6,9	7,6	8,1	9,9	12,1	11,9	11,8	11,7	11,2	8,7	5,5	5,4	9,2
Брагин	6,7	7,2	7,2	9,1	11,6	11,6	11,6	11,8	11,4	8,7	5,5	5,0	9,0

Таблица П 1.5

Среднее за год число дней с температурой воздуха ниже и выше заданных пределов и с переходом температуры воздуха через 0 °С в течение суток

Область, пункт	Среднее число дней с минимальной температурой воздуха, равной и ниже °С			Среднее число дней с максимальной температурой воздуха, равной и выше °С			Среднее число дней с переходом температуры воздуха через 0°С
	-35	-30	-25	25	30	34	
Витебская область							
Верхнедвинск	0,2	1	5	26	1	0,1	72
Полоцк	0,1	1	5	29	2	0,1	74
Шарковщина	0,1	0,7	5	28	2	0,1	72
Витебск	0,1	0,8	4	27	1	0,1	71
Лепель	0,1	0,5	3	28	2	0,1	69
Минская область							
Вилейка	0,1	0,5	3	32	3	0,2	73
Борисов	0,1	0,4	3	32	3	0,3	72
Минск	0,1	0,3	2	30	2	0,1	69
Марьина Горка	0,1	0,5	3	35	3	0,3	73
Гродненская область							
Лида	0,0	0,2	2	33	3	0,4	71
Гродно	0,0	0,5	2	37	5	0,4	79
Новогрудок	-	0,0	0,6	22	0,7	0,0	66
Волковыск	0,0	0,2	1	34	3	0,4	70
Могилевская область							
Горки	0,1	0,8	5	29	2	0,1	69
Могилев	0,1	0,8	4	33	2	0,2	70
Славгород	0,1	0,7	4	36	3	0,1	69
Бобруйск	0,1	0,7	3	39	4	0,3	73
Брестская область							
Барановичи	0,1	0,3	2	35	3	0,3	71
Пружаны	0,0	0,2	2	38	4	0,3	73
Брест	0,0	0,0	0,8	44	6	0,5	66
Пинск	0,0	0,2	2	41	4	0,2	71
Гомельская область							
Жлобин	0,1	0,6	3	42	5	0,3	69
Гомель	0,1	0,3	3	45	6	0,6	68
Василевичи	0,1	0,4	3	48	7	0,4	74
Житковичи	0,1	0,7	3	46	6	0,4	75
Брагин	0,0	0,7	3	46	6	0,4	71

Глубина промерзания грунта, см

Область, пункт	Средняя из максимальных за год	Наибольшая из максимальных	Тип грунта
1	2	3	4
Витебская область			
Езерище	67	130	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5-0,6 м моренным суглинком
Верхнедвинск	59	105	Тяжелый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5 м глиной
Полоцк	60	122	Пылеватая супесь, подстилаемая на глубине 0,5-0,6 м моренным суглинком
Шарковщина	89	134	Тяжелый суглинок, подстилаемый на глубине 0,3-0,4 м глиной
Витебск	73	142	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5-0,6 м моренным суглинком
Лынтупы	63	123	Супесь, подстилаемая песком
Докшицы	82	130	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Лепель	53	99	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Сенно	79	129	Моренный суглинок
Орша	71	140	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине до 1 м моренным суглинком
Минская область			
Вилейка	80	148	Легкая супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Борисов	71	147	Легкий суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком
Воложин	51	97	Моренный суглинок
Минск	63	137	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком
Березино	77	150	Легкая супесь, подстилаемая на глубине до 1 м песком
Столбцы	55	90	Супесь, подстилаемая на глубине 0,4-0,5 м моренным суглинком
Марьина Горка	79	134	Легкая супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Слуцк	71	133	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком
Гродненская область			
Ошмяны	78	142	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине 0,5 м моренным суглинком
Лида	58	113	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Гродно	65	134	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м моренным суглинком
Новогрудок	35	75	Легкий суглинок и пылеватая супесь, подстилаемые на глубине 0,3-0,4 м моренным суглинком
Волковыск	76	149	Супесь, подстилаемая на глубине до 1 м

			моренным суглинком
Могилевская область			
Горки	76	145	Легкий суглинок
Могилев	65	130	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине до 1 м моренным суглинком
Кличев	82	150	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком
Славгород	75	140	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком
Костюковичи	77	150	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком
Бобруйск	69	132	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком с прослойкой песка
Брестская область			
Барановичи	92	150	Супесь, подстилаемая на глубине 0,6-0,7 м песком или моренным суглинком
Ганцевичи	39	112	Песок и легкий суглинок, подстилаемый песком
Ивацевичи	47	127	Супесь, подстилаемая на глубине 0,5-0,6 м песком
Пружаны	77	150	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком или супесью
Высокое	59	115	Супесь, подстилаемая на глубине 0,5-0,6 м моренным суглинком
Полесский	63	100	Песок
Брест	55	142	Песок
Пинск	62	121	Пылеватая супесь, подстилаемая на глубине около 1 м суглинком
Гомельская область			
Жлобин	75	120	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком
Чечерск	61	>150	Супесь, подстилаемая на глубине около 1 м моренным суглинком
Октябрь	63	119	Песок, подстилаемый на глубине около 1 м моренным суглинком
Гомель	63	148	Песок
Василевичи	69	150	Пылеватая супесь и песок
Житковичи	48	102	Песок
Мозырь	68	135	Супесь, подстилаемая на глубине 0,3-0,4 м песком
Лельчицы	58	106	Песок
Брагин	62	115	Легкий пылеватый суглинок, подстилаемый на глубине около 1 м песком

Таблица П 1.7

Глубина нулевой изотермы в грунте, см

Область, пункт	Средняя из максимальных температур за год	Максимум обеспеченностью	
		0,90	0,98
1	2	3	4
Витебская область			
Шарковщина	42	75	102

Витебск	50	101	150
Лынтупы	37	70	103
Минская область			
Вилейка	43	77	105
Минск	33	80	114
Марьина Горка	52	100	130
Гродненская область			
Гродно	75	115	150
Новогрудок	16	47	77
Могилевская область			
Горки	52	100	140
Славгород	54	105	160
Бобруйск	33	70	104
Брестская область			
Барановичи	48	100	129
Ганцевичи	20	40	565
Ивацевичи	54	98	125
Брест	30	68	105
Пинск	40	77	107
Гомельская область			
Гомель	61	115	154
Василевичи	54	101	142
Житковичи	46	75	100
Лельчицы	55	88	111

Таблица П 1.8

Основные сочетания параметров воздействия дождя с ветром на условную вертикальную поверхность различной ориентации

Ориентация	Шифр основного сочетания*	Значения параметров воздействия			
		количества осадков за время дождя на вертикальную поверхность, мм	интенсивности дождя на вертикальную поверхность, мм/мин	средней скорости ветра во время дождя, м/с	продолжительности дождя, мин
1	2	3	4	5	6
Минск					
С	I, III	99	0,08	12	1167
	II	9	0,45	7	20
	IV	27	0,02	3	1350
СВ	I, III, IV	126	0,06	10	2283
	II	55	1,31	8	42
В	I	48	0,19	5	248
	II	8	0,35	5	23
	III	22	0,06	8	390
	IV	20	0,01	4	1480

ЮВ	I, II	49	0,17	4	295
	III, IV	34	0,04	5	866
Ю	I	22	0,08	4	271
	II, III	8	0,30	7	27
	IV	12	0,01	2	910
ЮЗ	I	48	0,06	4	760
	II, III	18	0,51	14	35
	IV	40	0,04	3	1019
З	I, II	47	0,20	5	236
	III	14	0,04	7	390
	IV	18	0,01	3	1217
СЗ	I	64	0,04	5	1439
	II, III	21	0,15	8	137
	IV	38	0,03	3	1503
Брест					
С	I	53	0,03	4	1633
	II	29	0,11	2	276
	III	47	0,06	5	726
	III, IV	27	0,02	5	1650
СВ	I	30	0,06	4	527
	II, III	15	0,13	5	120
	III, IV	23	0,02	5	1014
В	I, II, III, IV	79	0,07	6	1092
ЮВ	I, III	29	0,31	6	95
	II	29	1,12	4	26
	IV	8	0,01	2	1167
Ю	I, IV	29	0,06	2	508
	II	7	0,10	2	67
	III	17	0,05	3	350
ЮЗ	I, III	40	0,05	6	740
	II, III	30	0,27	6	113
	IV	19	0,02	3	1050
З	I	62	0,06	5	1095
	II	13	0,18	3	73
	III	32	0,08	10	386
	IV	13	0,01	4	1315
СЗ	I, III	94	0,16	6	595
	II	23	0,20	5	114
	III, IV	47	0,04	6	1203
Василевичи					
С	I	35	0,04	4	941
	II, III	20	0,24	7	82
	IV	12	0,01	1	2240
СВ	I, II, III	38	0,54	16	70

	IV	27	0,03	7	800
В	I, IV	32	0,02	4	1787
	II	14	0,15	6	96
	III	21	0,05	9	435
ЮВ	I, III, IV	20	0,03	5	730
	II	7	0,23	1	30
Ю	I, II	24	0,09	3	264
	III	16	0,06	6	269
	IV	7	0,01	2	840
ЮЗ	I, II	13	0,29	4	45
	III	10	0,10	10	96
	IV	6	0,01	2	280
З	I, IV	41	0,03	4	1260
	II, III	23	0,08	5	296
	III	40	0,04	5	972
СЗ	I, III, IV	136	0,10	8	1380
	II	18	0,51	5	35

* I – максимальное за дождь количество осадков на вертикальную поверхность.

II – максимальная за время дождя интенсивность на вертикальную поверхность.

III – максимальная за время дождя скорость ветра на высоте 10-12 м.

IV – максимальная продолжительность одного дождя.

Таблица П 1.9

Средняя месячная и годовая относительная влажность, %

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Витебская область													
Езерище	84	82	78	73	69	73	77	79	83	84	87	87	80
Верхнедвинск	86	84	80	74	69	72	76	79	83	85	88	88	80
Полоцк	85	84	79	73	68	72	76	79	82	86	88	88	80
Шарковщина	86	85	81	75	69	72	76	79	82	85	88	88	81
Витебск	85	83	79	72	67	71	76	78	81	84	87	88	79
Лынтупы	88	86	81	75	69	72	76	79	83	85	90	90	81
Докшицы	84	83	77	75	70	72	76	78	82	85	88	88	80
Лепель	86	84	79	73	68	70	75	77	81	84	88	88	79
Сенно	84	83	79	73	68	72	76	78	81	84	87	88	79
Орша	85	84	80	75	69	72	75	78	81	85	88	89	80
Минская область													
Вилейка	86	84	79	73	67	70	74	76	80	84	88	89	79
Борисов	87	84	79	72	66	69	73	75	80	84	88	89	79
Воложин	87	85	79	73	67	70	74	75	80	85	89	90	80
Минск	86	84	79	72	67	69	72	75	79	84	88	89	79
Березино	86	83	78	73	67	70	74	77	80	84	88	89	79

Столбцы	86	84	80	72	68	72	74	74	79	84	88	89	79
Марьина	87	85	81	74	69	72	76	77	81	85	89	90	81
Горка													
Слуцк	86	84	80	74	68	69	75	76	78	84	88	89	79
Гродненская область													
Ошмяны	87	85	81	74	69	72	76	77	81	85	89	90	81
Лида	86	85	79	73	69	71	75	78	83	87	89	89	80
Гродно	87	86	80	74	70	71	74	76	80	85	89	90	80
Новогрудок	89	87	81	74	69	72	74	76	80	85	91	91	81
Волковыск	85	84	78	70	68	70	72	74	79	83	88	89	78
Могилевская область													
Горки	86	85	83	76	69	72	76	78	81	85	89	89	81
Могилев	86	84	81	74	68	70	74	76	80	84	88	89	80
Кличев	85	83	79	73	69	71	75	77	79	83	88	88	79
Славгород	85	83	80	73	67	70	75	76	79	83	88	89	79
Костюковичи	85	83	80	74	68	72	75	77	80	83	87	88	79
Бобруйск	86	83	80	72	67	71	74	76	80	83	88	89	79
Брестская область													
Барановичи	87	85	81	74	68	71	73	75	79	84	89	89	80
Ганцевичи	85	83	79	72	71	74	76	79	82	84	88	89	80
Ивацевичи	86	85	79	72	69	71	73	75	80	84	88	89	79
Пружаны	87	86	80	74	72	73	74	77	81	85	89	89	81
Высокое	87	85	79	73	70	71	73	75	79	83	88	89	79
Полесский	85	83	78	72	71	74	76	79	82	84	88	89	80
Брест	85	83	78	71	68	70	72	74	79	82	87	88	78
Пинск	85	84	79	72	70	72	74	76	79	83	88	88	79
Гомельская область													
Жлобин	85	83	80	72	66	70	73	75	79	83	87	89	79
Чечерск	85	83	80	73	67	70	73	75	80	83	87	89	79
Октябрь	86	83	79	71	67	71	74	76	79	83	88	88	79
Гомель	84	82	79	70	65	69	71	73	77	81	86	87	77
Василевичи	85	82	78	70	65	70	73	75	79	82	87	88	78
Житковичи	84	78	77	70	67	70	73	76	80	82	87	88	78
Мозырь	85	83	78	70	64	68	71	73	77	81	87	88	77
Лельчицы	84	82	77	69	66	70	72	75	78	82	86	87	77
Брагин	85	84	81	74	69	72	74	76	79	83	88	88	79

Таблица П 1.10

Снежный покров

Область, пункт	Высота снежного покрова, см			Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова, дни
	средняя из наибольших декадных за зиму	максимальная из наибольших декадных	максимальная суточная за зиму на последний день декады	
1	2	3	4	5
Витебская область				
Езерище	27	62	48	109
Верхнедвинск	23	76	48	102

Полоцк	25	50	56	101
Шарковщина	18	40	45	94
Витебск	28	61	60	109
Лынтупы	34	66	72	112
Докшицы	22	59	56	98
Лепель	27	48	51	104
Сенно	22	44	50	96
Орша	25	66	59	104
Минская область				
Вилейка	24	45	51	89
Борисов	27	62	54	104
Воложин	23	51	48	98
Минск	27	62	52	101
Березино	26	73	58	98
Столбцы	22	56	47	89
Марьино Горка	19	40	46	93
Слуцк	17	53	38	88
Гродненская область				
Ошмяны	15	46	48	96
Лида	19	45	51	82
Гродно	17	42	53	73
Новогрудок	25	78	64	95
Волковыск	14	44	55	81
Могилевская область				
Горки	21	45	52	108
Могилев	26	56	52	106
Кличев	17	37	51	90
Славгород	24	49	64	101
Костюковичи	23	48	64	101
Бобруйск	22	45	45	89
Брестская область				
Барановичи	15	30	42	82
Ганцевичи	18	52	53	82
Ивацевичи	16	41	44	79
Пружаны	15	61	54	83
Высокое	14	44	54	75
Полесский	19	36	45	85
Брест	14	42	36	67
Пинск	13	41	40	73
Гомельская область				
Жлобин	16	36	47	87
Чечерск	18	46	57	93
Октябрь	18	43	41	91
Гомель	19	59	52	88
Василевичи	18	47	51	84
Житковичи	19	71	55	83
Мозырь	21	45	48	88
Лельчицы	17	65	45	82
Брагин	15	43	46	83

Таблица П 1.11

Среднее число дней с атмосферными явлениями за год

Область, пункт	Атмосферные явления			
	пыльная буря	гроза	туман	метель
1	2	3	4	5
Витебская область				
Езерище	-	30	44	22
Верхнедвинск	-	19	52	15
Полоцк	-	22	44	15
Шарковщина	0,0	28	56	16
Витебск	-	21	54	25
Лынтупы	0,1	24	87	10
Докшицы	0,4	25	57	11
Лепель	0,2	25	54	22
Сенно	-	27	42	11
Орша	-	25	60	22
Минская область				
Вилейка	0,1	21	48	12
Борисов	0,2	23	47	18
Воложин	0,0	22	97	14
Минск	0,1	25	59	15
Березино	1,6	28	41	17
Столбцы	0,0	21	53	14
Марьина Горка	0,0	28	61	24
Слуцк	0,0	28	59	19
Гродненская область				
Ошмяны	0,1	22	77	14
Лида	0,0	26	59	19
Гродно	0,1	21	54	16
Новогрудок	-	24	98	17
Волковыск	0,4	28	53	17
Могилевская область				
Горки	0,2	27	55	17
Могилев	0,1	28	65	25
Кличев	0,2	26	50	9
Славгород	0,3	28	50	22
Костюковичи	0,0	28	54	17
Бобруйск	1,2	25	49	15
Брестская область				
Барановичи	0,1	20	76	16
Ганцевичи	0,1	32	60	8
Ивацевичи	-	23	49	15
Пружаны	0,1	32	62	14
Высокое	0,4	30	62	13
Полесский	0,0	33	53	10
Брест	0,7	25	42	11
Пинск	0,4	20	55	14
Гомельская область				
Жлобин	0,3	24	51	12
Чечерск	0,1	27	61	16
Октябрь	0,2	28	52	13
Гомель	1,6	27	54	19

Василевичи	1,4	31	53	11
Житковичи	1,4	30	49	16
Мозырь	1,6	29	55	16
Лельчицы	1,8	33	50	11
Брагин	0,5	26	52	11

Таблица П 1.12

Средняя за месяц и за год продолжительность
солнечного сияния, ч

Область, пункт	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Витебская область													
Полоцк	44	70	124	181	260	275	271	241	156	89	35	25	1771
Шарковщина	44	74	130	182	261	72	265	242	159	96	40	28	1793
Минская область													
Минск	46	70	128	176	253	262	258	237	166	99	36	27	1758
Марьино Горка	52	72	126	169	251	255	256	239	162	97	37	27	1743
Слуцк	49	73	128	181	257	266	263	243	175	105	42	29	1811
Гродненская область													
Гродно	43	60	136	176	233	260	264	247	176	98	40	30	1763
Новогрудок	46	68	129	172	239	265	257	243	171	97	35	26	1748
Могилевская область													
Горки	52	77	125	182	258	272	262	241	160	91	37	26	1783
Костюковичи	52	76	123	173	255	272	262	239	166	100	36	27	1781
Брестская область													
Брест	50	70	133	176	238	248	259	242	170	114	46	33	1779
Пинск	54	72	132	186	250	260	261	246	180	114	45	32	1832
Гомельская область													
Гомель	54	74	131	176	264	261	260	246	168	115	44	31	1824
Василевичи	53	72	127	178	261	269	269	247	179	110	43	31	1839

Таблица П 1.13

Месячные суммы прямой солнечной радиации
на горизонтальные и вертикальные поверхности
различной ориентации при ясном небе, МДж/м²

Ориентация поверхности	ская широта,	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Горизонтальная	56	72	149	337	488	655	704	684	552	369	218	97	55
	54	81	163	350	498	657	699	687	555	382	237	113	66
	52	94	182	367	511	659	693	691	559	399	262	134	81
С	56	-	-	-	10	59	77	82	22	-	-	-	-

	54	-	-	-	10	52	77	76	22	-	-	-	-
	52	-	-	-	10	46	69	76	17	-	-	-	-
СВ, СЗ	56	0,7	12	57	112	183	211	205	138	70	24	3	-
	54	0,8	13	56	110	177	203	199	133	69	26	3	-
	52	0,9	15	55	107	171	194	193	129	72	29	4	-
В, З	56	71	128	232	293	360	366	369	315	232	168	96	60
	54	77	135	234	284	342	342	350	300	233	175	105	71
	52	85	142	239	281	323	319	339	291	231	186	115	84
ЮВ, ЮЗ	56	269	325	435	415	400	366	383	403	398	379	299	248
	54	262	324	434	403	388	342	364	383	386	382	308	263
	52	262	337	426	388	356	319	352	358	375	390	322	282
Ю	56	374	442	532	444	360	310	335	408	469	506	420	346
	54	369	443	535	423	342	280	309	377	451	502	433	370
	52	381	459	525	404	316	256	290	358	435	516	446	397

Таблица П 1.14

Месячные суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальные и вертикальные поверхности различной ориентации при ясном небе, МДж/м²

Ориентация поверхности	Географическая широта, град	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Горизонтальная	56	116	225	457	643	840	883	879	720	488	294	148	84
	54	135	242	477	652	840	885	881	731	505	316	167	103
	52	160	265	505	665	840	887	883	746	528	346	192	128
С	56	63	118	173	147	235	263	266	178	108	70	49	40
	54	74	125	181	147	228	267	259	184	112	74	55	50
	52	89	130	180	149	221	255	254	181	114	77	59	62
СВ, СЗ	56	67	136	241	263	372	408	402	308	188	102	57	43
	54	80	145	249	261	365	403	396	308	191	108	62	53
	52	96	152	247	260	358	391	385	308	196	114	67	66
В, З	56	141	259	427	456	562	575	582	497	361	252	154	105
	54	160	274	439	447	542	556	563	489	366	265	168	128
	52	185	287	443	446	522	529	545	485	368	278	183	154
ЮВ, ЮЗ	56	350	470	646	588	605	577	600	594	541	476	370	300
	54	358	476	655	578	592	558	581	581	534	483	385	328
	52	378	496	647	564	559	531	563	561	527	497	404	363
Ю	56	466	600	759	629	570	522	557	608	626	615	504	406
	54	478	610	773	609	550	497	531	585	613	617	523	444
	52	513	632	765	590	523	470	507	571	603	636	543	490

Таблица П 1.15

Месячные и годовые суммы прямой солнечной радиации
на горизонтальные и вертикальные поверхности
различной ориентации при средних условиях облачности, МДж/м²

Ориентация поверхности	Станция	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Горизонтальная	Полоцк	13	37	120	171	250	324	283	221	126	47	13	5	1610
	Минск	18	40	126	175	282	328	296	236	146	57	14	8	1726
	Василевичи	24	45	114	171	280	320	284	252	165	68	18	10	1751
С	Полоцк	-	-	-	3	18	36	28	7	-	-	-	-	92
	Минск	-	-	-	4	17	36	27	7	-	-	-	-	91
	Василевичи	-	-	-	3	14	32	26	5	-	-	-	-	80
СВ	Полоцк	0,1	1	14	36	70	107	85	51	21	3	0,4	-	389
	Минск	0,2	2	15	35	76	105	86	54	23	4	0,4	-	401
	Василевичи	0,2	2	12	34	73	99	80	55	26	5	0,5	-	387
В	Полоцк	11	24	73	103	143	188	158	128	78	31	11	4	952
	Минск	14	24	73	98	155	177	154	130	86	35	11	7	964
	Василевичи	17	26	64	92	143	160	142	134	92	39	12	8	929
ЮВ	Полоцк	46	73	143	145	160	185	167	168	137	76	38	21	1359
	Минск	54	70	144	142	178	174	166	172	146	84	36	29	1395
	Василевичи	61	75	119	130	162	160	151	174	152	92	40	31	1347
Ю	Полоцк	66	105	185	156	140	143	139	168	160	105	54	29	1450
	Минск	79	104	188	149	149	131	133	165	172	116	52	42	1480
	Василевичи	93	108	158	135	137	118	119	166	180	129	57	45	1445
ЮЗ	Полоцк	49	81	154	137	140	152	147	152	130	80	40	22	1284
	Минск	58	80	155	133	149	148	145	153	143	89	38	30	1321
	Василевичи	67	83	134	121	134	138	136	151	153	99	42	33	1284
З	Полоцк	12	30	79	91	118	149	130	111	74	33	12	5	844
	Минск	17	31	82	91	124	144	133	113	85	39	13	8	880
	Василевичи	21	32	72	84	120	138	125	118	91	45	16	9	871
СЗ	Полоцк	0,3	3	18	32	58	87	74	49	20	4	0,4	-	347
	Минск	0,4	3	18	33	62	85	74	50	23	5	0,4	-	354
	Василевичи	0,5	3	16	31	59	80	71	53	26	6	0,7	-	346

Таблица П 1.16

Месячные и годовые суммы суммарной солнечной радиации
на горизонтальные и вертикальные поверхности различной ориентации при средних условиях
облачности, МДж/м²

Ориентация поверхности	Станция	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Горизонтальная	Полоцк	60	121	278	382	534	613	568	456	292	134	50	30	3518
	Минск	69	133	291	393	567	624	590	478	315	154	59	41	3714
	Василевичи	86	145	295	402	570	623	613	505	344	176	71	52	3882
С	Полоцк	45	85	146	151	211	242	228	170	115	59	27	21	1500
	Минск	49	92	151	150	213	250	233	176	118	66	32	29	1559
	Василевичи	60	96	152	157	213	243	249	179	124	72	38	36	1619
СВ	Полоцк	45	86	160	183	263	313	284	214	136	62	27	21	1794
	Минск	49	94	166	182	272	319	292	223	141	69	32	29	1868
	Василевичи	60	99	165	188	272	310	302	229	150	77	39	36	1927
В	Полоцк	55	108	219	250	336	394	358	292	193	89	38	25	2357
	Минск	63	116	224	245	351	391	360	299	204	100	43	36	2432
	Василевичи	77	122	216	246	342	371	365	308	216	111	50	44	2468
ЮВ	Полоцк	90	157	289	293	353	391	366	331	252	134	64	41	2761
	Минск	103	162	295	288	374	388	372	341	264	150	68	58	2863
	Василевичи	121	171	271	283	361	371	374	348	275	164	78	67	2884
Ю	Полоцк	110	190	333	303	333	349	338	331	275	164	81	50	2855
	Минск	128	196	339	295	345	345	339	334	290	182	84	71	2948
	Василевичи	153	204	310	289	336	329	342	340	303	201	95	81	2983
ЮЗ	Полоцк	93	166	300	284	333	358	347	316	245	138	66	42	2688
	Минск	107	172	306	280	345	362	351	322	261	155	70	59	2790
	Василевичи	127	180	287	275	333	349	359	325	277	171	80	69	2832
З	Полоцк	57	115	225	238	311	355	330	274	189	91	39	26	2250
	Минск	66	123	233	237	320	358	339	282	203	104	45	37	2347
	Василевичи	81	129	224	237	319	349	348	292	214	117	54	45	2409
СЗ	Полоцк	45	87	164	180	250	293	273	212	135	63	27	21	1750
	Минск	49	95	169	180	258	299	280	219	141	71	32	29	1822
	Василевичи	60	100	168	184	258	291	294	227	150	78	39	36	1885

Таблица П 1.17

Поправки к осадкам на ветровой недоучет

Область, пункт	Холодный период	Теплый период
1	2	3
Витебская область		
Езерище	1,39	1,02
Верхнедвинск	1,35	1,03
Полоцк	1,42	1,02
Шарковщина	1,45	1,03
Витебск	1,40	1,02
Лынтупы	1,29	1,02
Докшицы	1,47	1,03

Лепель	1,32	1,02
Сенно	1,38	1,02
Орша	1,40	1,03
Минская область		
Вилейка	1,32	1,02
Борисов	1,34	1,02
Воложин	1,40	1,03
Минск	1,39	1,03
Березино	1,31	1,02
Столбцы	1,24	1,02
Марьина Горка	1,37	1,02
Слуцк	1,38	1,03
Гродненская область		
Ошмяны	1,31	1,02
Лида	1,34	1,02
Гродно	1,29	1,02
Новогрудок	1,34	1,02
Волковыск	1,38	1,03
Могилевская область		
Горки	1,48	1,03
Могилев	1,37	1,02
Кличев	1,37	1,02
Славгород	1,39	1,02
Костюковичи	1,37	1,02
Бобруйск	1,34	1,02
Брестская область		
Барановичи	1,38	1,02
Ганцевичи	1,29	1,02
Ивацевичи	1,29	1,02
Пружаны	1,31	1,02
Высокое	1,35	1,03
Полесский	1,30	1,02
Брест	1,29	1,02
Пинск	1,29	1,02
Гомельская область		
Жлобин	1,31	1,02
Чечерск	1,36	1,02
Октябрь	1,37	1,02
Гомель	1,35	1,02
Василевичи	1,27	1,02
Житковичи	1,27	1,02
Мозырь	1,30	1,02
Лельчицы	1,31	1,02
Брагин	1,35	1,02

Таблица П 1.18

Основные сочетания параметров воздействия дождя с ветром на условную вертикальную поверхность различной ориентации

Климатические районы	Климатические подрайоны	Средняя месячная температура воздуха в январе, °С	Средняя скорость ветра за три зимних месяца, м/с	Средняя месячная температура воздуха в июле, °С	Средняя месячная относительная влажность воздуха в июле, %
1	2	3	4	5	6
I	IA	от -32 и ниже	-	от +4 до +19	-
	IB	от -28 и ниже	5 и более	от 0 до +13	более 75
	IV	от -14 до -28	-	от +12 до +21	-
	IG	от -14 до -28	5 и более	от 0 до +14	более 75
II	ID	от -14 до -32	-	от +10 до +20	-
	IIA	от -4 до -14	5 и более	от +8 до +12	более 75
	IIB	от -3 до -5	5 и более	от +12 до +21	более 75
	IIV	от -4 до -14	-	от +12 до +21	-
III	IIIG	от -5 до -14	5 и более	от +12 до +21	более 75
	IIIA	от -10 до -20	-	от +21 до +25	-
	IIIB	от -5 до +2	-	от +21 до +25	-
IV	IIIV	от -5 до -14	-	от +21 до +25	-
	IVIA	от -10 до +2	-	от +28 и выше	-
	IVIB	от +2 до +6	-	от +22 до +28	50 и более в 15 ч
	IVIV	от 0 до +2	-	от +25 до +28	-
		от +15 до 0	-	от +25 до +28	-

Примечание. Климатический подрайон ID характеризуется продолжительностью холодного периода года (со средней суточной температурой воздуха ниже 0 °С) 190 дней в году и более.

Таблица П 1.19

Метеорологические элементы и измеряемые величины

Метеорологические элементы	Изменяемые величины	Единицы измерения	
		наименование	обозначение
1	2	3	4
Температура:			
воздуха	Температура (текущая, экстремальная)	Градус Цельсия	°С
		Кельвин	К
	Градиентные температуры	Градус Цельсия на метр	°С/м
		Кельвин на метр	К/м
воды	Температура (текущая, экстремальная)	Градус Цельсия	°С
		Кельвин	К
	Градиентные температуры	Градус Цельсия на метр	°С/м
		Кельвин на метр	К/м

почвы	Температура (текущая, экстремальная) Градиентные температуры	Градус Цельсия Кельвин Градус Цельсия на метр Кельвин на метр	°С К °С/м К/м
Атмосферное давление	Давление	Паскаль, миллибар Миллиметры ртутного столба	Па, мб мм рт. ст.
Барическая тенденция	Изменение давления за 3 часа	Миллибар на 3 часа	мб/3ч
Влажность воздуха	Парциальное давление водного пара относительная влажность точка росы	Миллибар Процент Градус Цельсия	мб % °С
Ветер	Скорость (мгновенная, средняя, максимальная) Направление	Метр в секунду, балл Градус дуги, румб	м/с, балл ° С-В, Ю-В Ю-З, С-З
Осадки	Количество (толщина слоя воды на горизонтальной поверхности) Вид (твердые, жидкие) Интенсивность Продолжительность (начало, конец)	Миллиметр – Миллиметр в минуту Часы, минуты	мм обозначения по коду мм/мин ч, мин
Снежный покров	Плотность Запас воды (толщина слоя воды) Высота (толщина)	Грамм на кубический сантиметр Миллиметр Сантиметр	г/см ³ мм см
Гололед	Плотность Количество льда на погонный метр проволоки	Грамм на кубический сантиметр Грамм на метр	г/см ³ г/м
Роса	Количество (толщина слоя воды на горизонтальной поверхности) Время выпадения и испарения	Миллиметр Часы, минуты	мм ч, мин
Испарения из почвы, с водной поверхности	Количество (толщина слоя воды, которая испарилась)	Миллиметры	мм
Облачность	Количество Высота нижней и верхней границы Форма	Баллы (при 10-балльной системе) Метр По атласу облаков	балл м –
Видимость	Прозрачность атмосферы Метеорологические расстояния видимости	Процент Километр, метр	% км, м
Туман	Интенсивность Продолжительность	– Часы, минуты	по инструкции ч, мин
Солнечная радиация: прямая	Продолжительность	Часы, минуты	ч, мин

	солнечного сияния		
рассеянная	Энергетическая освещенность	Ватт на квадратный метр Калория в минуту на квадратный сантиметр	Вт/м ² кал/мин·см ²
отраженная, остаточная (баланс)	Доза излучения	Джоуль на квадратный сантиметр Калория на квадратный сантиметр	Дж/см ² кал/ см ²
Длинноволновая радиация	Доля излучения (за год, месяц, декаду, сутки, час)	Джоуль на квадратный сантиметр Калория на квадратный сантиметр	Дж/см ² кал/ см ²
	Энергетическая освещенность	Ватт на квадратный метр Калория в минуту на квадратный сантиметр	Вт/м ² кал/мин·см ²

Примечание. Допустимые нагрузки на провода и кабели с алюминиевыми жилами принимаются в размере 77% от нагрузок для соответствующих проводников с медными жилами.

Таблица П 1.20

Геохронологическая шкала^{1[*]}

Группы (эра)	Система (период)	Начало, млн. лет тому назад	Продолжительность, млн. лет
Кайнозойская	Антропогенная	0,7	0,7
	Неогенная	25	24,3
	Палеогенная	67	42
Мезозойская	Меловая	137	70
	Юрская	195	58
	Триасовая	230	35
Палеозойская	Пермский	285	55
	Каменноугольная	350	75-65
	Девонская	410	60
	Силурийская	440	30
Протерозойская	Ардовикская	500	60
	Кембрийская	570	70
	-	2600	2030
Архейская	-	> 3500	> 1000

СХЕМАТИЧЕСКИЕ КАРТЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Условные обозначения:

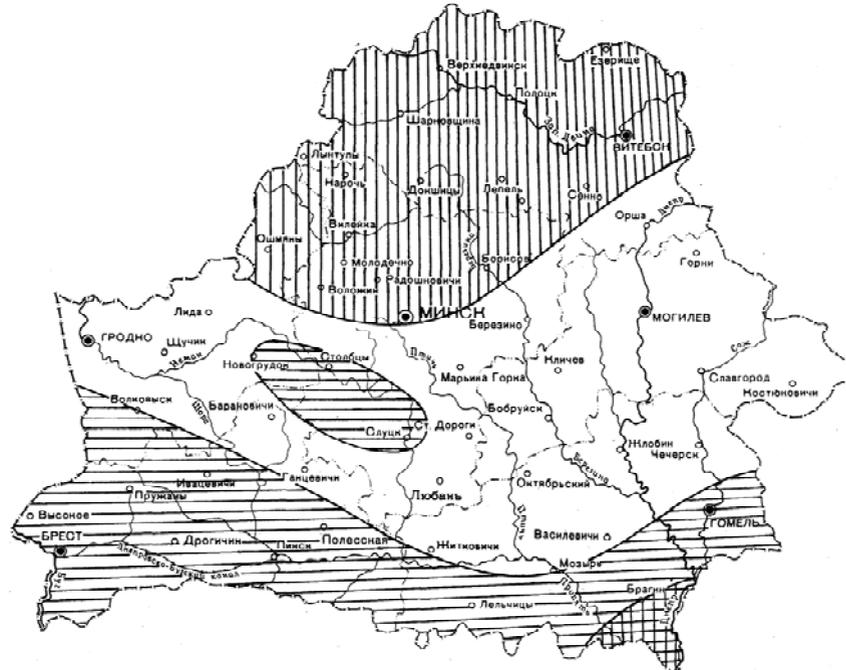
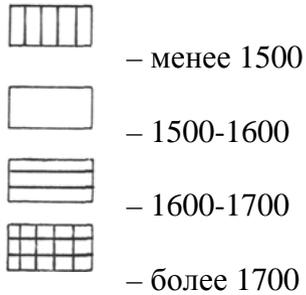


Рис. П 2.1. Сумма радиационного баланса в теплый период, МДж/м²
(апрель – сентябрь)

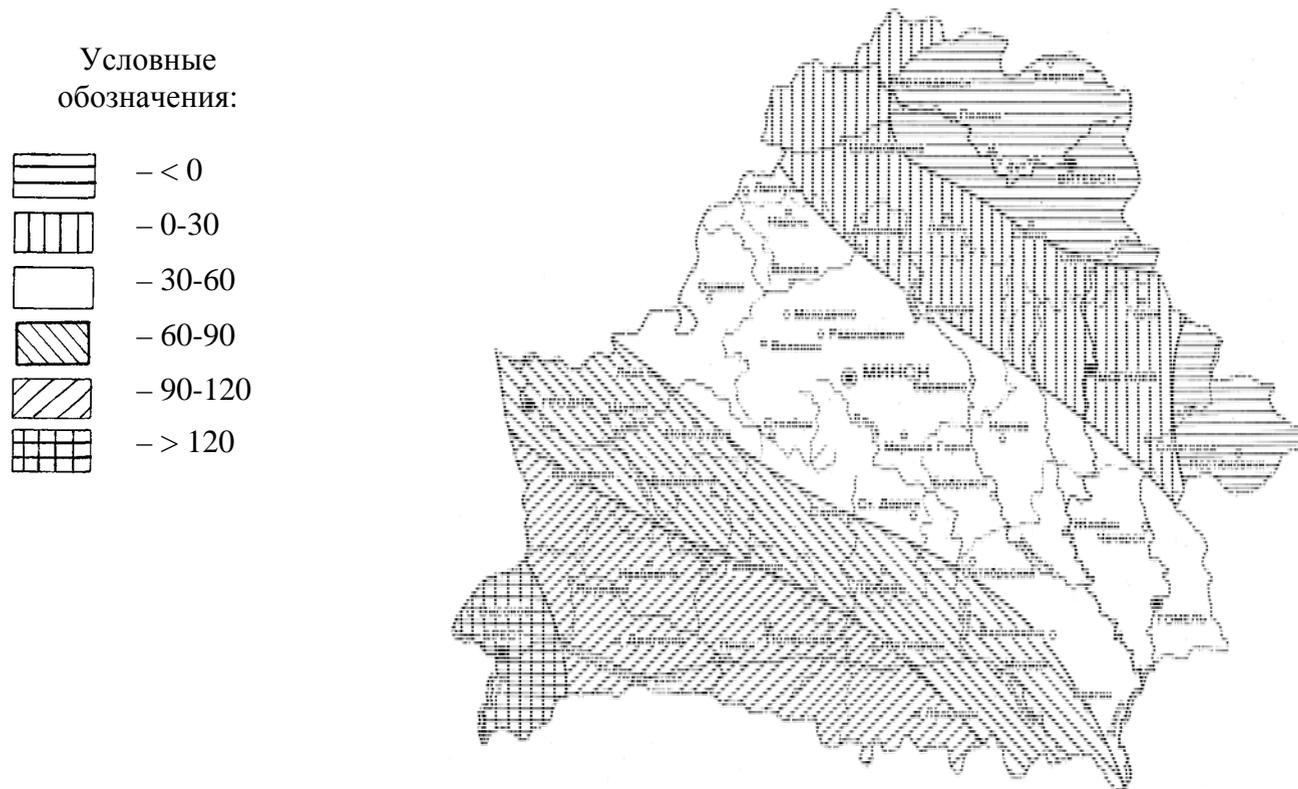


Рис. П 2.2. Сумма радиационного баланса в холодный период, МДж/м²
(октябрь – март)

Условные обозначения:	
	<1500
	-1500-1600
	-1600-1700
	-1700-1800
	>1800

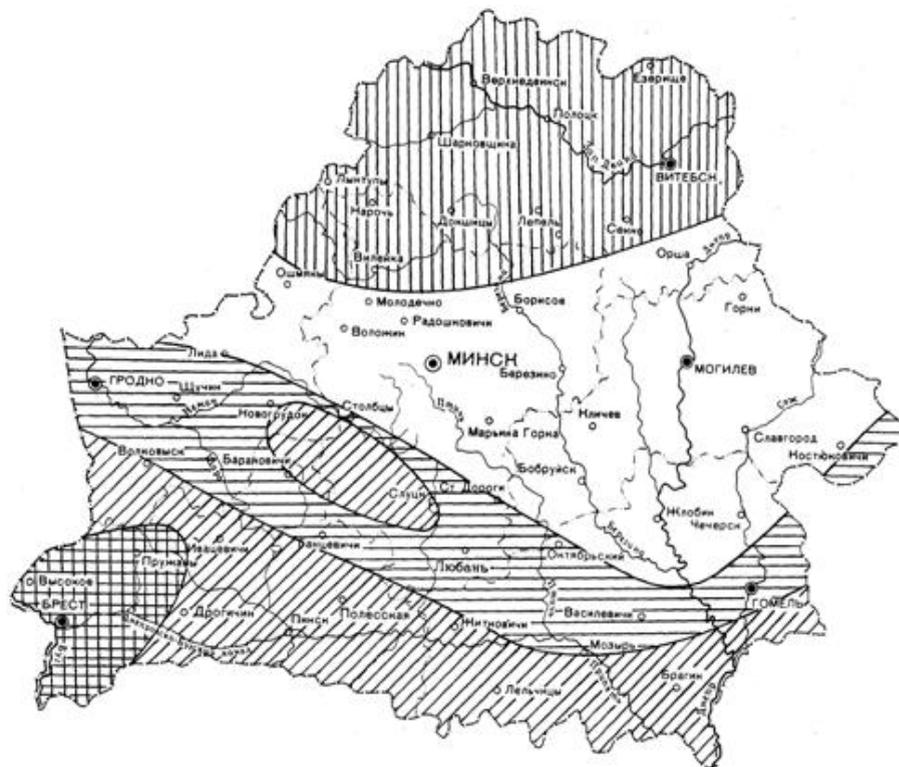


Рис. П 2.3. Сумма радиационного баланса за год, МДж/м²

Условные
обозначения:

- I– < 2800
- II– 2900
- III– 3000
- IV– 3100
- V– > 3100



Рис. П 2.4. Сумма солнечной радиации в теплый период, МДж/м²
(апрель – сентябрь)

Условные
обозначения:

- I — < 650
- II — 700
- III — 750
- IV — 800
- V — 850
- VI — > 850



Рис. П 2.5. Сумма солнечной радиации в холодный период, МДж/м²
(октябрь – март)

Условные
обозначения:

- I – < 3400
- II – 3600
- III – 3800
- IV – 4000
- V – > 4000



Рис. П 2.6. Сумма солнечной радиации за год, МДж/м²

Условные обозначения:	
I	— < 1700
II	— 1750
III	— 1800
IV	— 1850
V	— > 1850

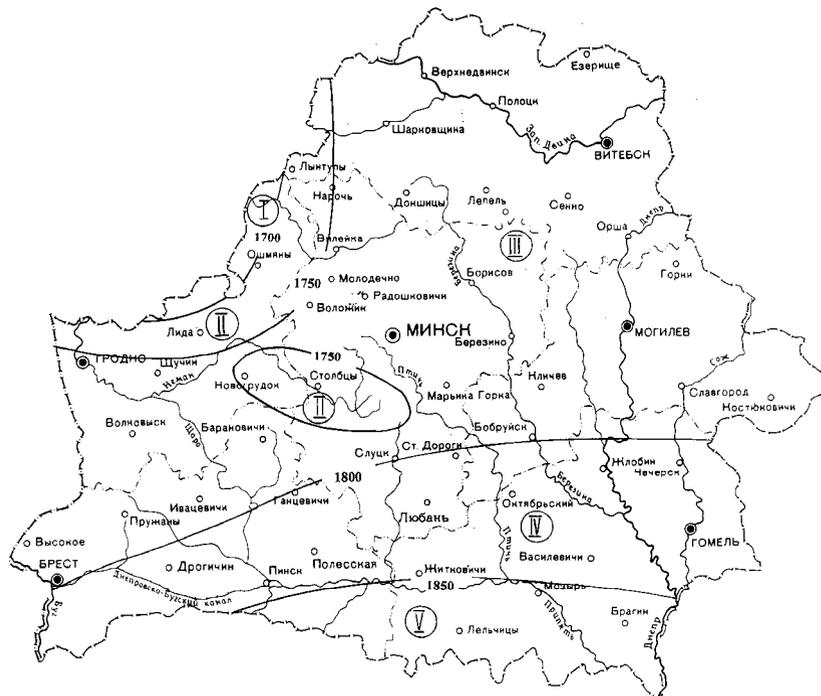


Рис. П 2.7. Продолжительность солнечного сияния за год, ч

Условные обозначения:	
I	-<2500
II	-2500
III	-2600
IV	-2700
V	-2800
VI	-2900
VII	-3000
VIII	->3000



Рис. П 2.8. Сумма коротковолнового радиационного баланса за год, МДж/м²

Условные
обозначения:

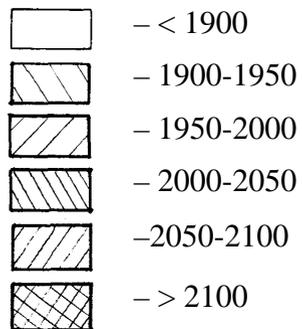


Рис. П 2.9. Сумма рассеянной солнечной радиации за год, МДж/м²

Условные обозначения:	
	$->-4,5$
	– от -4,5 до -5,0
	– от -5,0 до -5,5
	– от -5,5 до -6,0
	– от -6,0 до -6,5
	– от -6,5 до -7,0
	– от -7,0 до -7,5
	– от -7,5 до -8,0
	$<-8,0$



Рис. П 2.10. Распределение средней температуры в январе, °С

Условные
обозначения:

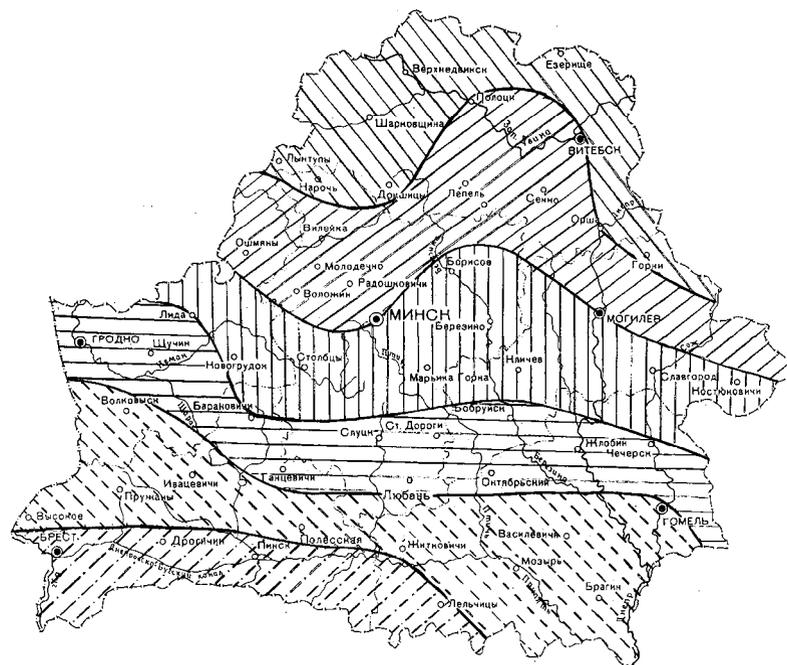
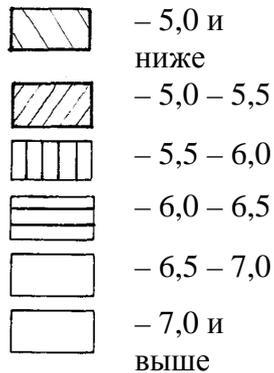


Рис. П 2.11. Распределение средней температуры воздуха в апреле, °С

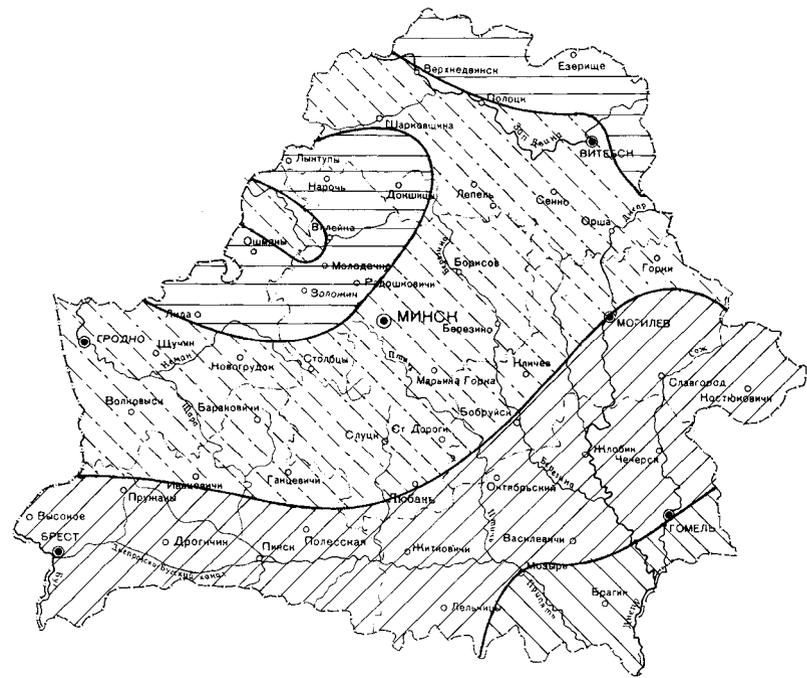
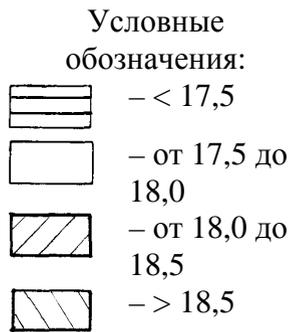


Рис. П 2.12. Распределение средней температуры воздуха в июле, °С

Условные
обозначения:

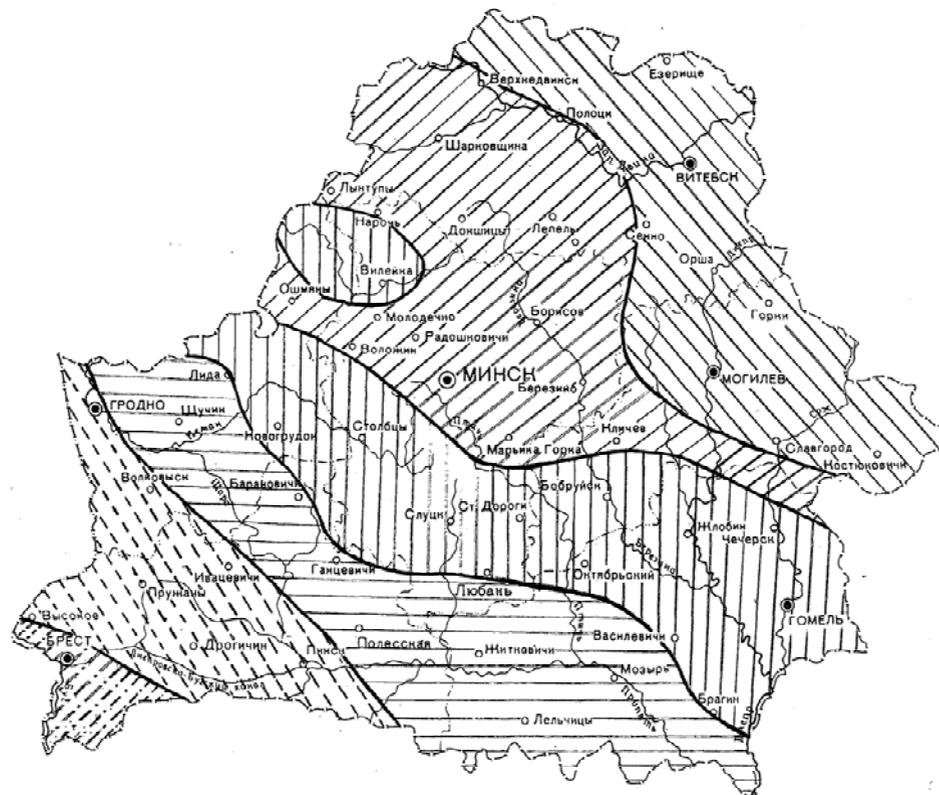
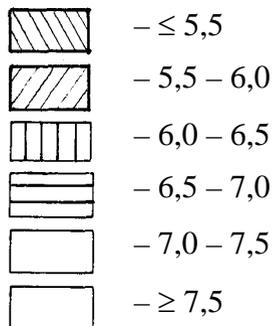


Рис. П 2.13. Распределение средней температуры воздуха в октябре, °С

Условные
обозначения:

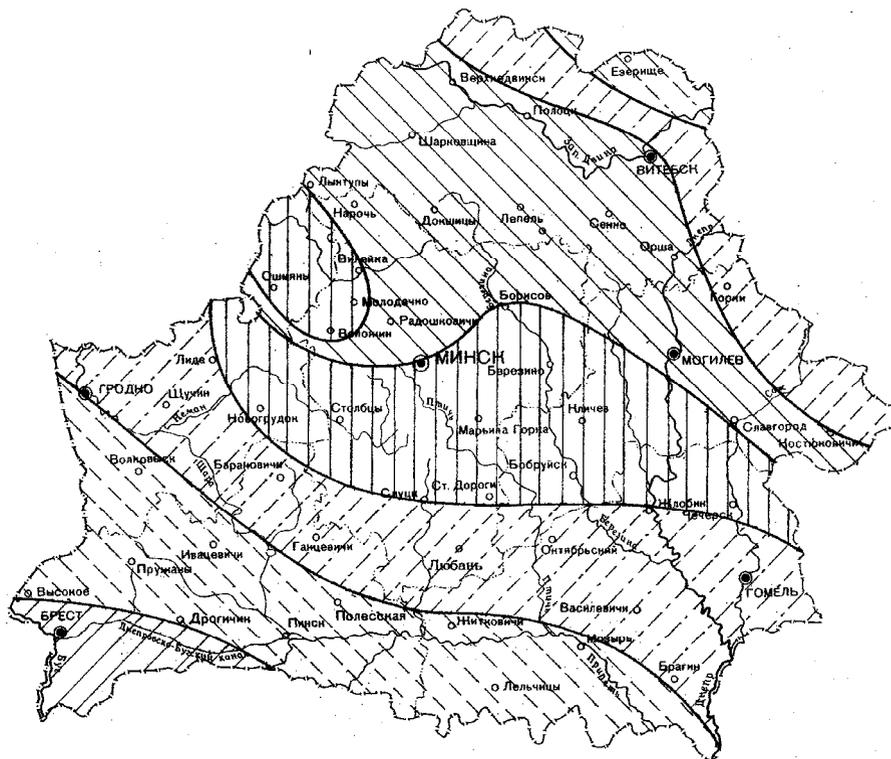
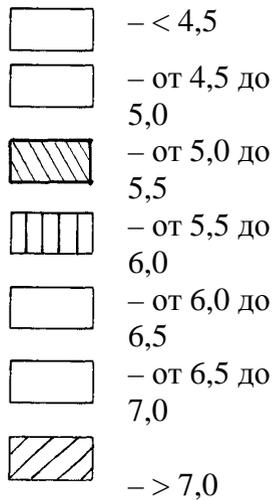


Рис. П 2.14. Распределение средней температуры воздуха за год, °С

Условные обозначения:



– раньше 15.11



– 15.11-20.11



– 20.11-25.11



– 25.11-30.11



– позже 30.11



Рис. П 2.15. Распределение средней суточной температуры воздуха при переходе через 0°C в ноябре

Условные обозначения:	
	–раньше20.10
	–20.10-25.10
	–25.10-30.10
	–после30.10



Рис. П 2.16. Распределение средней суточной температуры воздуха при переходе через 5 °С в октябре

Условные обозначения:

-  – раньше 25.09
-  – 25.09-30.09
-  – позже 30.09

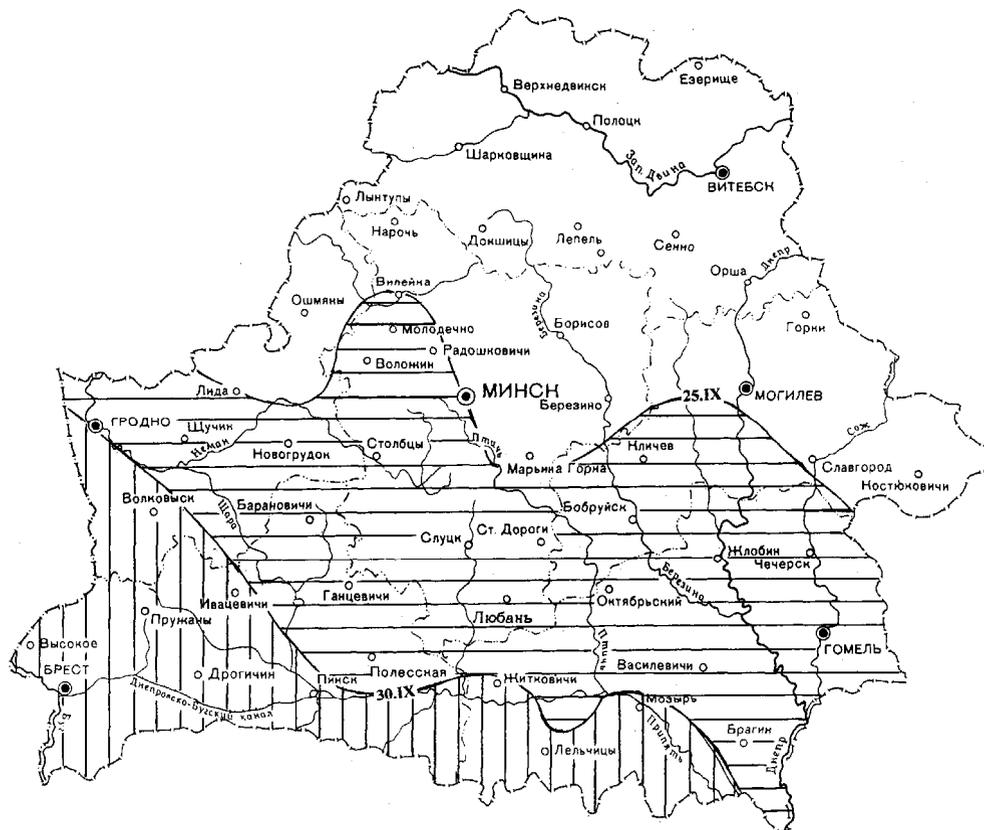


Рис. П 2.17. Распределение средней суточной температуры воздуха при переходе через 10 °C в сентябре

Условные
обозначения:

-  – раньше
10.04
-  – 10.04 –
15.04
-  – позже
15.04

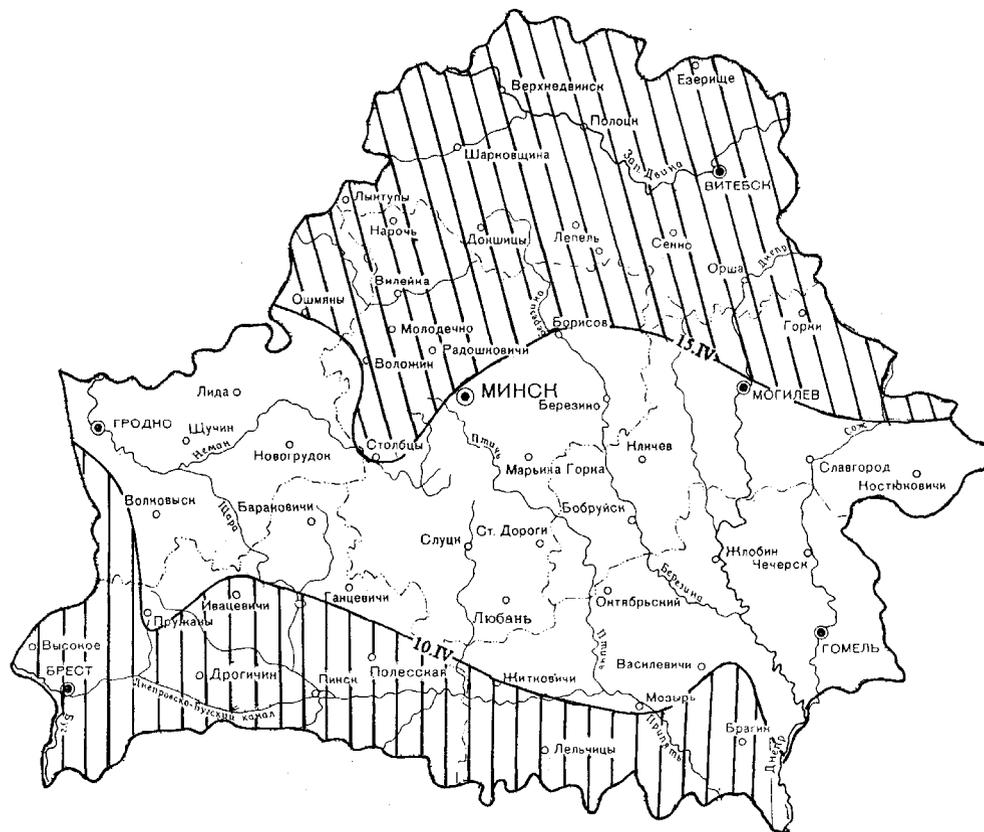


Рис. П 2.19. Распределение средней суточной температуры воздуха при переходе через 5 °С в апреле

Условные
обозначения:

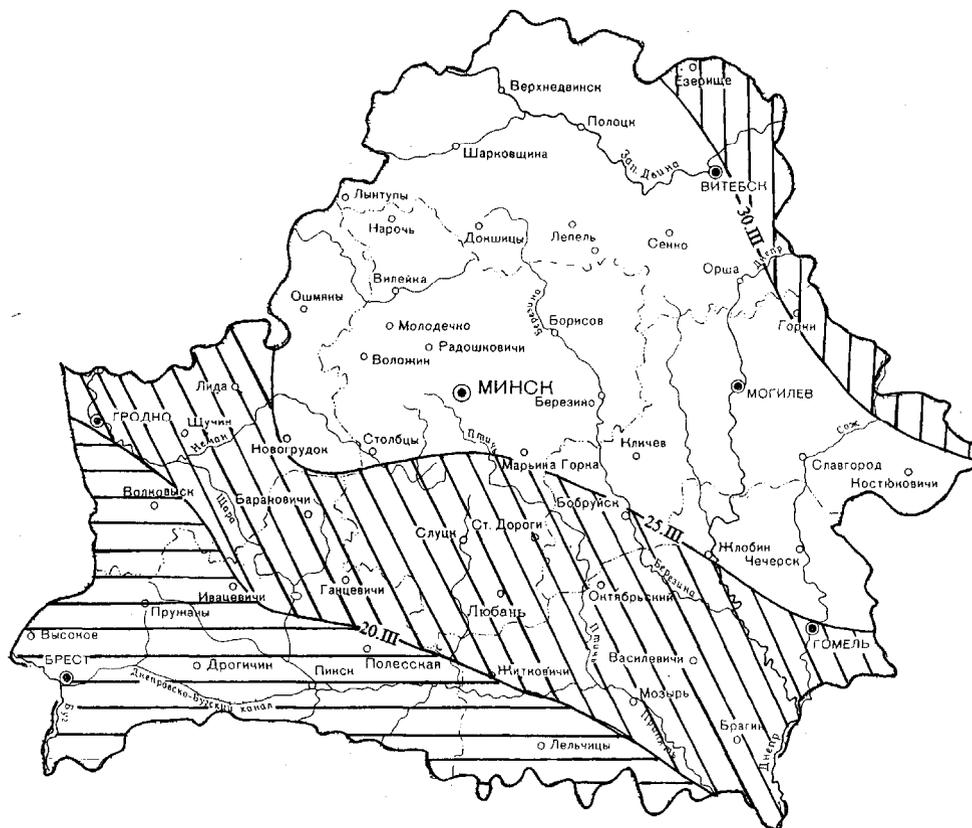
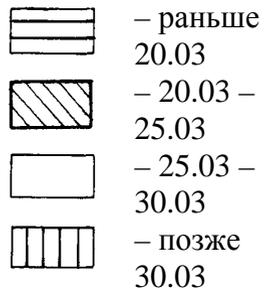


Рис. П 2.20. Распределение средней суточной температуры воздуха при переходе через 0 °С в марте

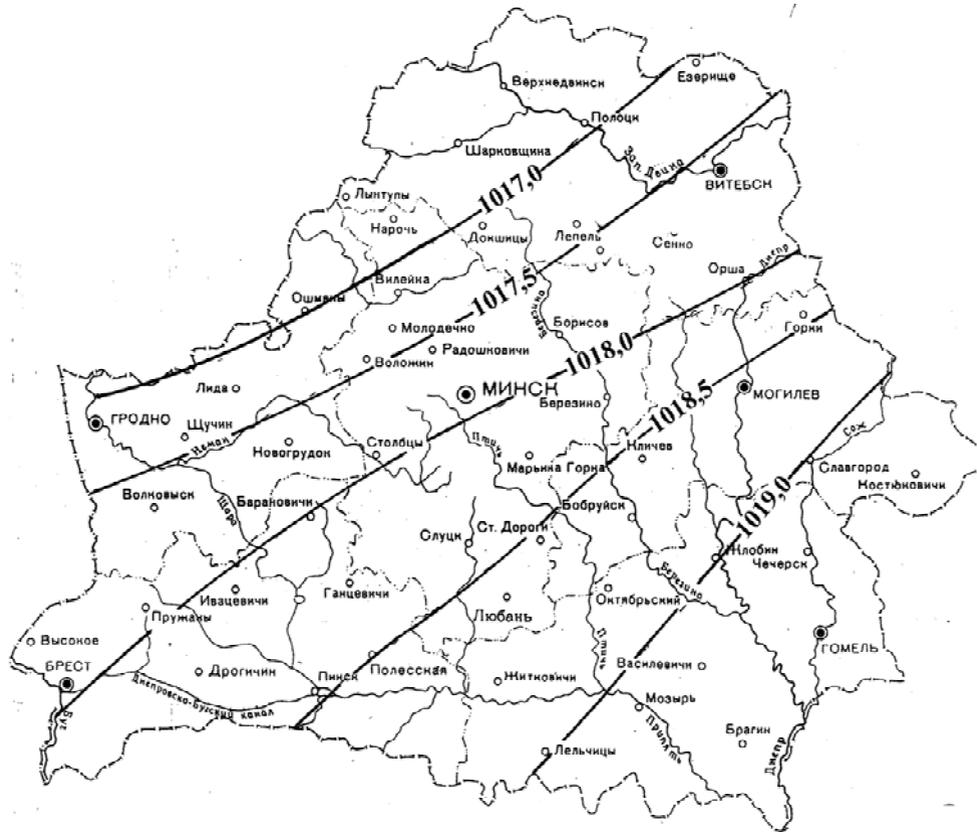


Рис. П 2.21. Распределение давления атмосферного воздуха в январе, мм рт. ст.



Рис. П 2.22. Распределение давления атмосферного воздуха в июле, мм рт. ст.

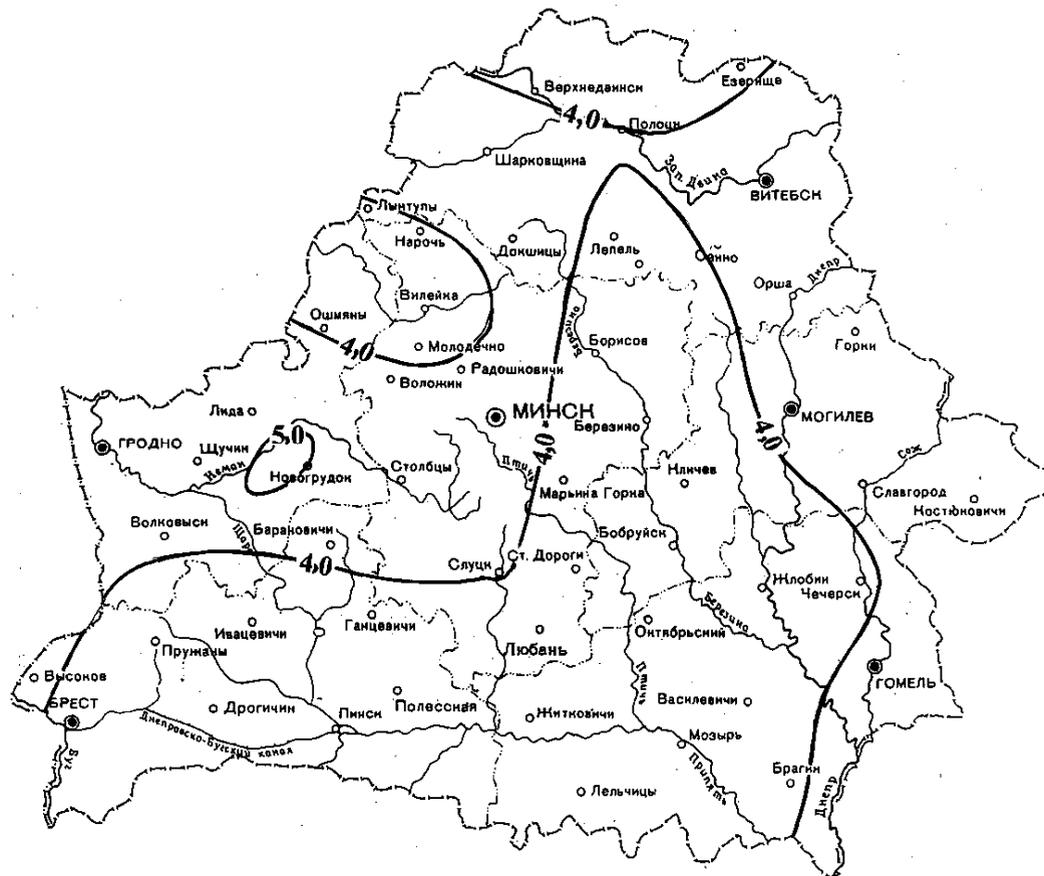


Рис. П 2.23. Средняя скорость ветра в январе, м/с



Рис. П 2.24. Средняя скорость ветра в июле, м/с



Рис. П 2.26. Повторяемость ветра в июле, %:
 (-3,0 – средняя скорость ветра в июле, м/с)
 (Длина луча соответствует повторяемости данного направления ветра в процентах от общего количества наблюдений без штиля в среднем за июль. Число в кружке – повторяемость штилей (в процентах))

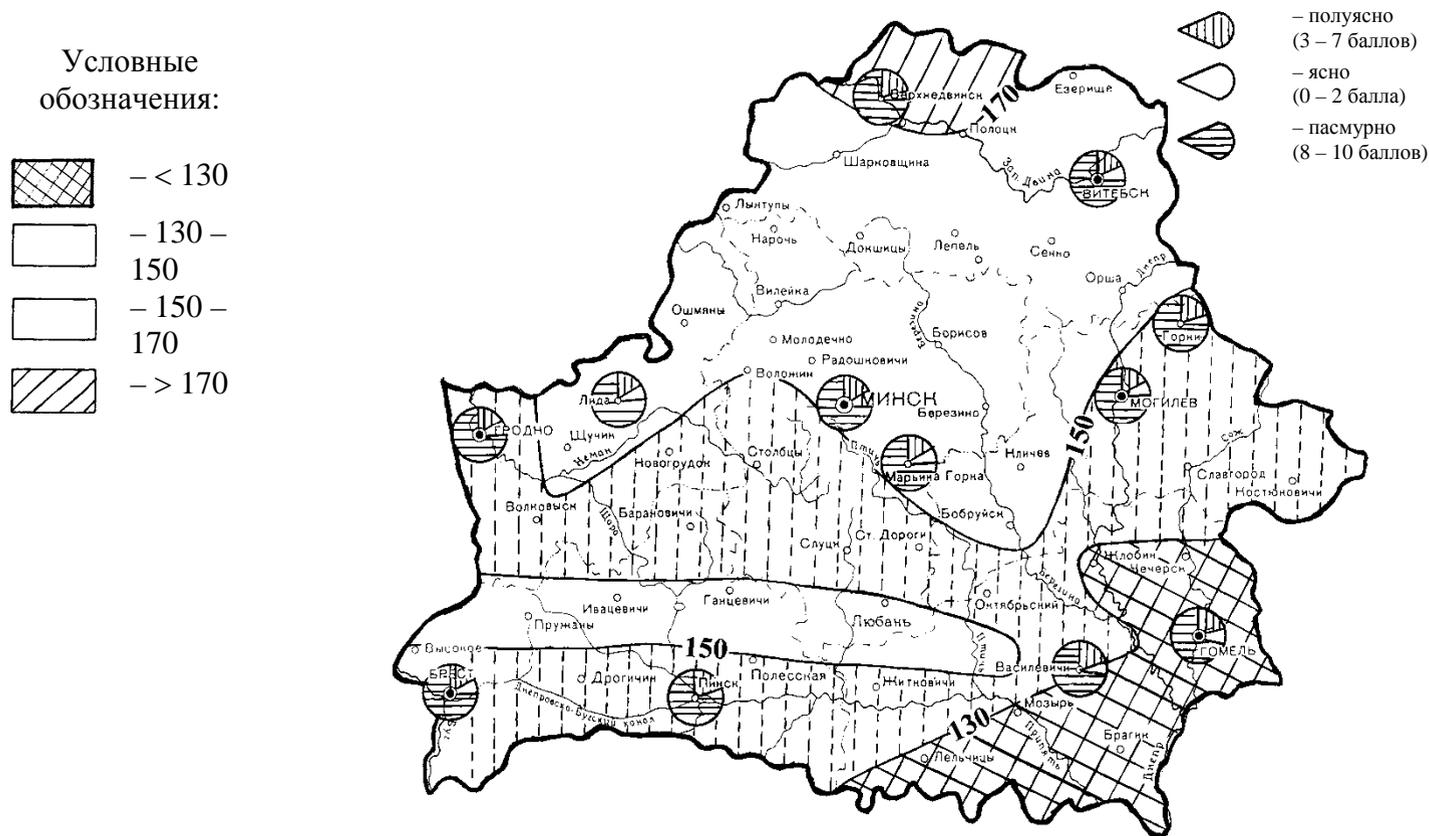


Рис. П 2.27. Распределение облачности (количество пасмурных дней по общей облачности) в январе

Условные обозначения:

-  – ясно (0-2 балла)
-  – полуюсно (3-7 баллов)
-  – пасмурно (8-10 баллов)

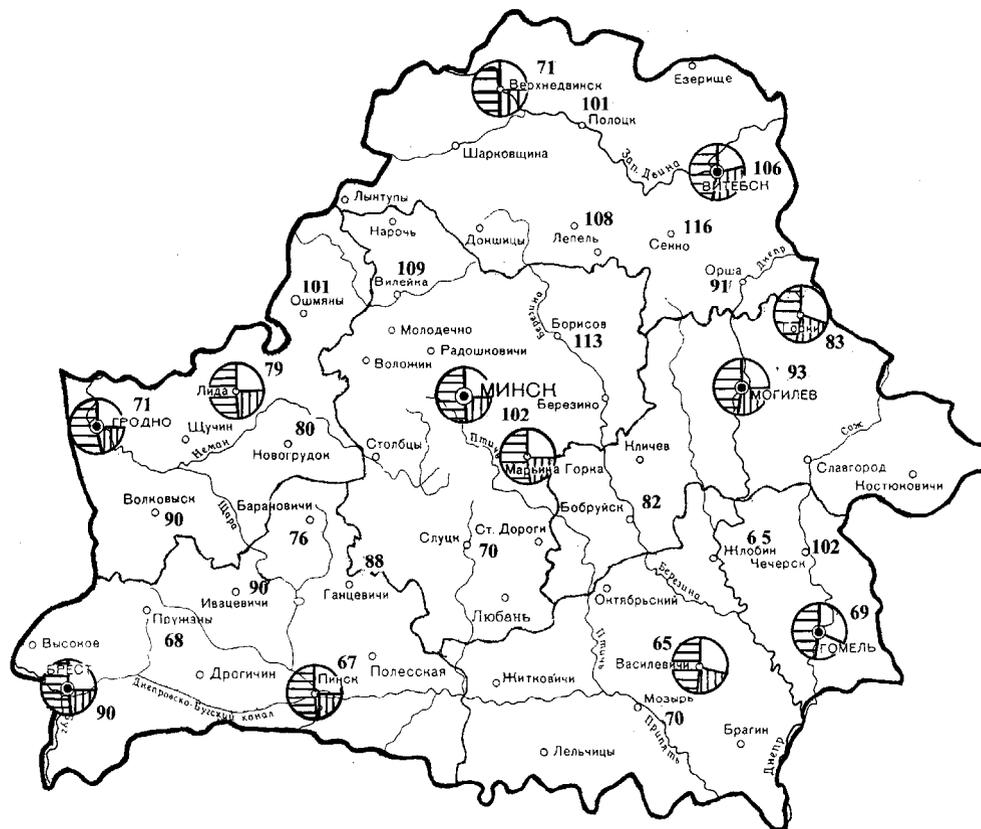


Рис. П 2.28. Распределение облачности (количество пасмурных дней за год по общей облачности) в июле

Условные
обозначения:

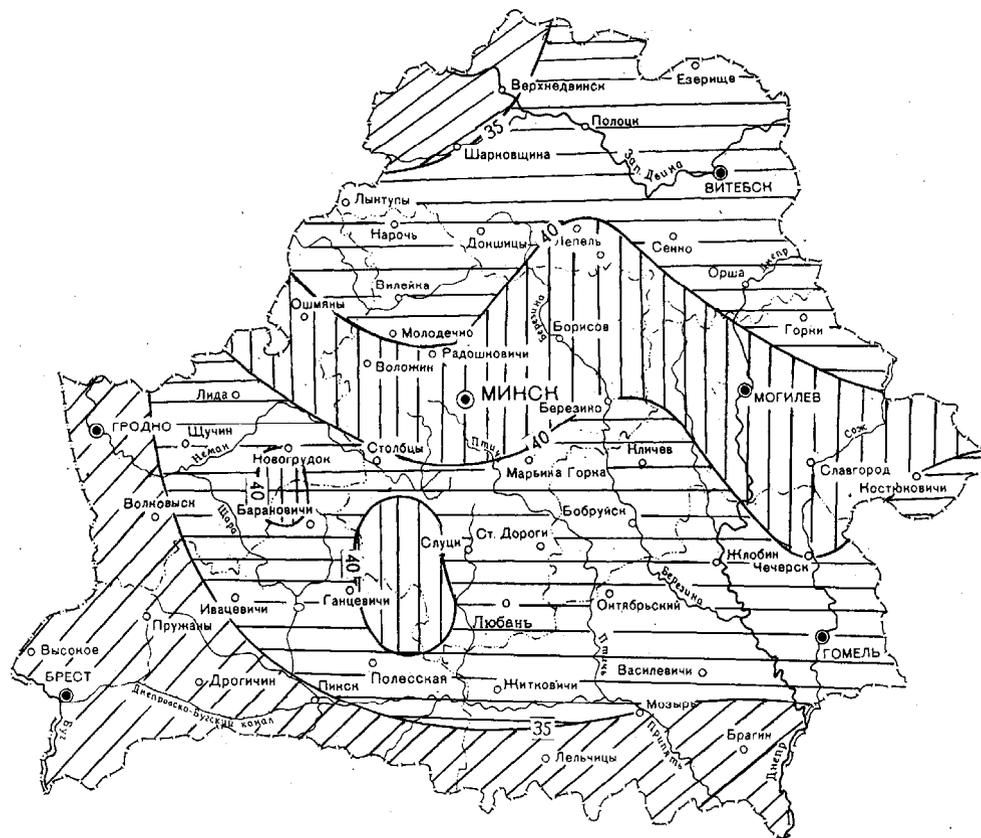
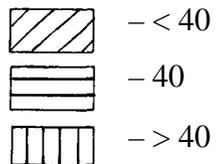


Рис. П 2.29. Распределение количества осадков в январе, мм

Условные
обозначения:

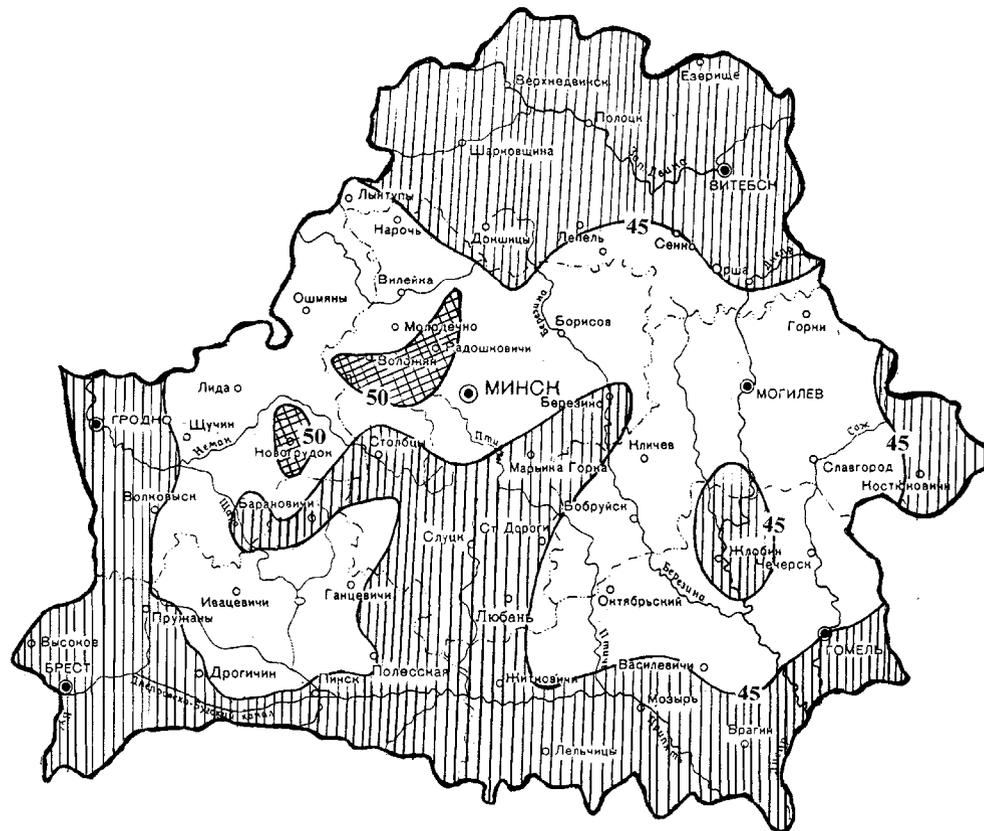
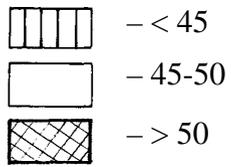


Рис. П 2.30. Распределение количества осадков в апреле, мм

Условные
обозначения:



> 500



– 450–

500



– 400–

450



–

<400

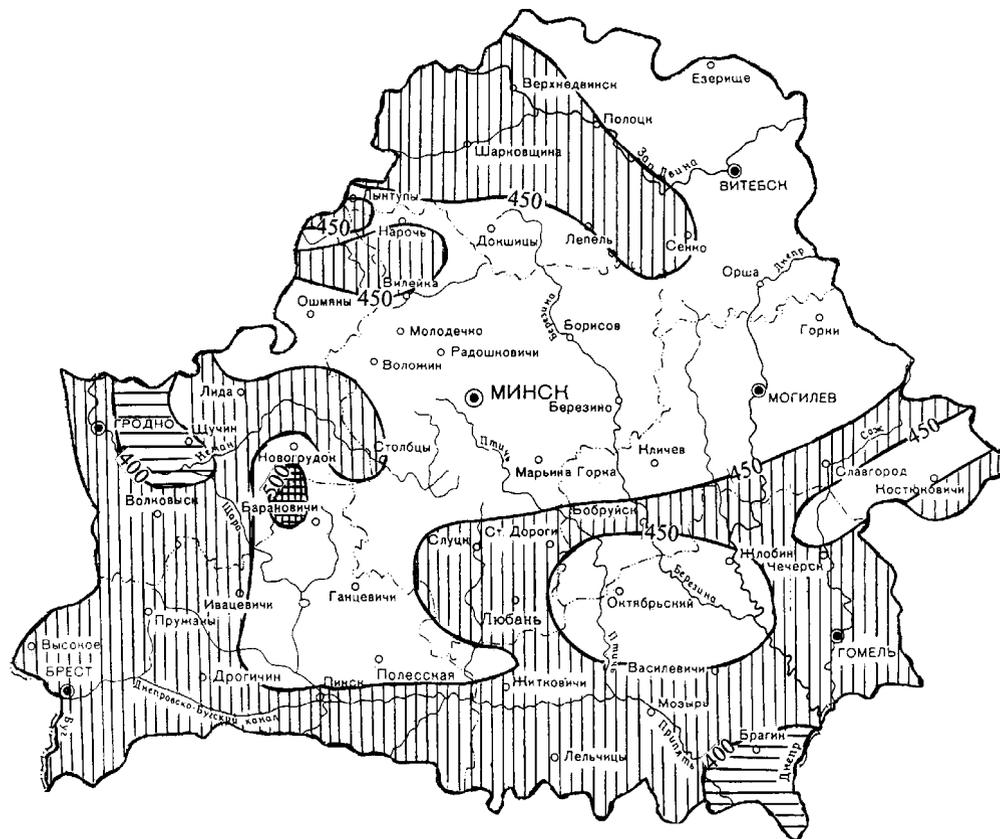


Рис. П 2.31. Распределение количества осадков в теплый период года, мм

Условные
обозначения:

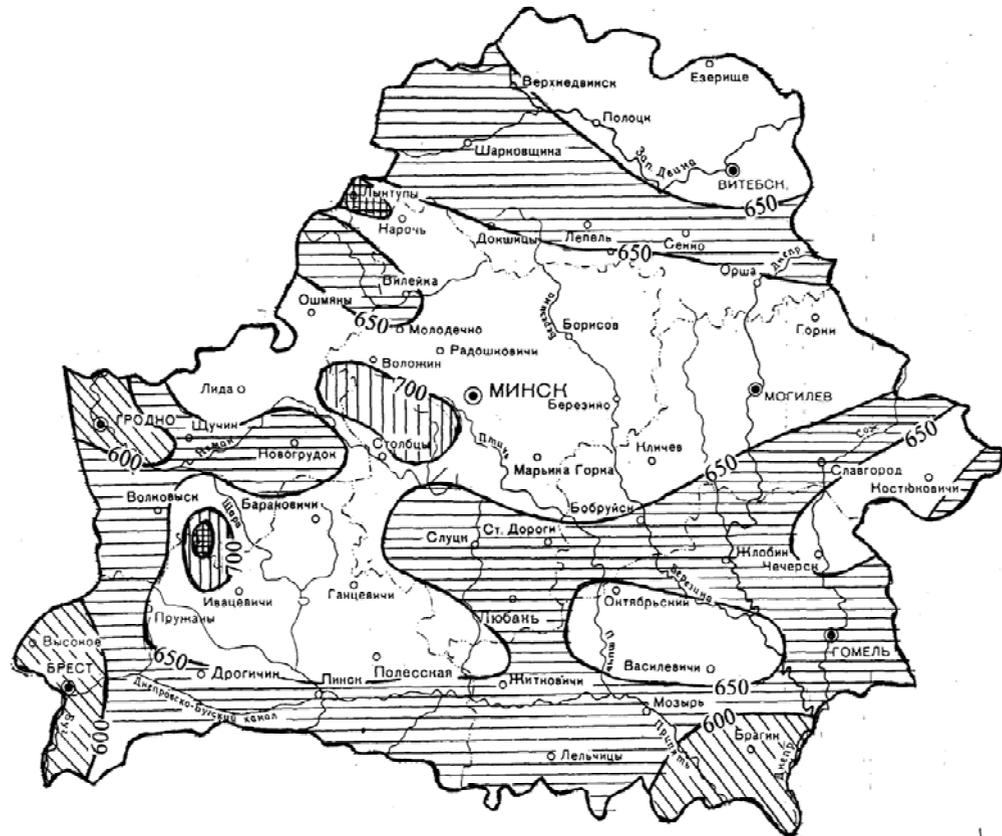
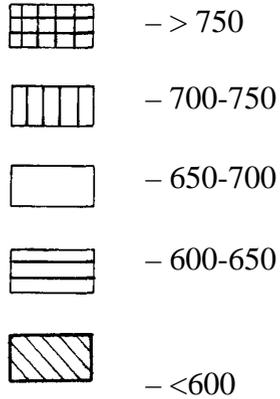


Рис. П 2.35. Распределение количества осадков за год, мм

Условные
обозначения:

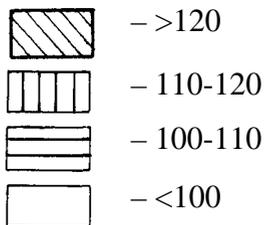


Рис. П 2.37. Распределение количества осадков 0,1 мм и больше за год
(количество дней с осадками 1,0 мм и больше)

Условные
обозначения:

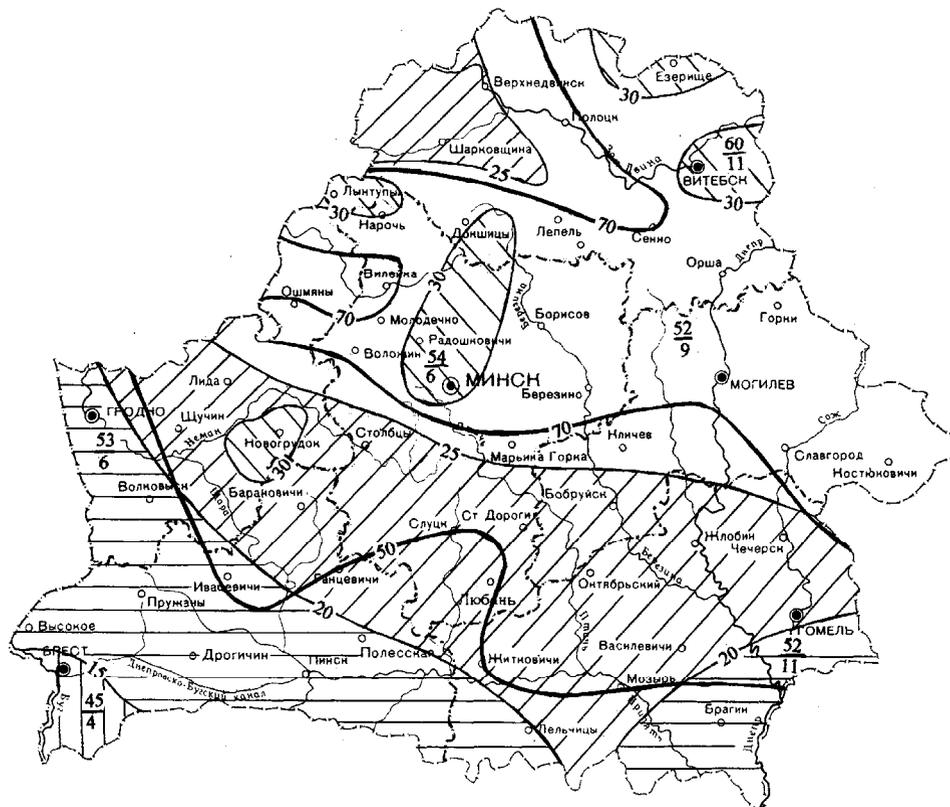
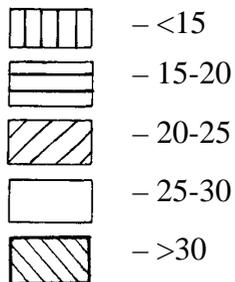


Рис. П 2.38. Распределение высоты снежного покрова и запаса воды в снегу за год, мм
(50 – средний из максимальных за зиму запас воды в снегу, мм)

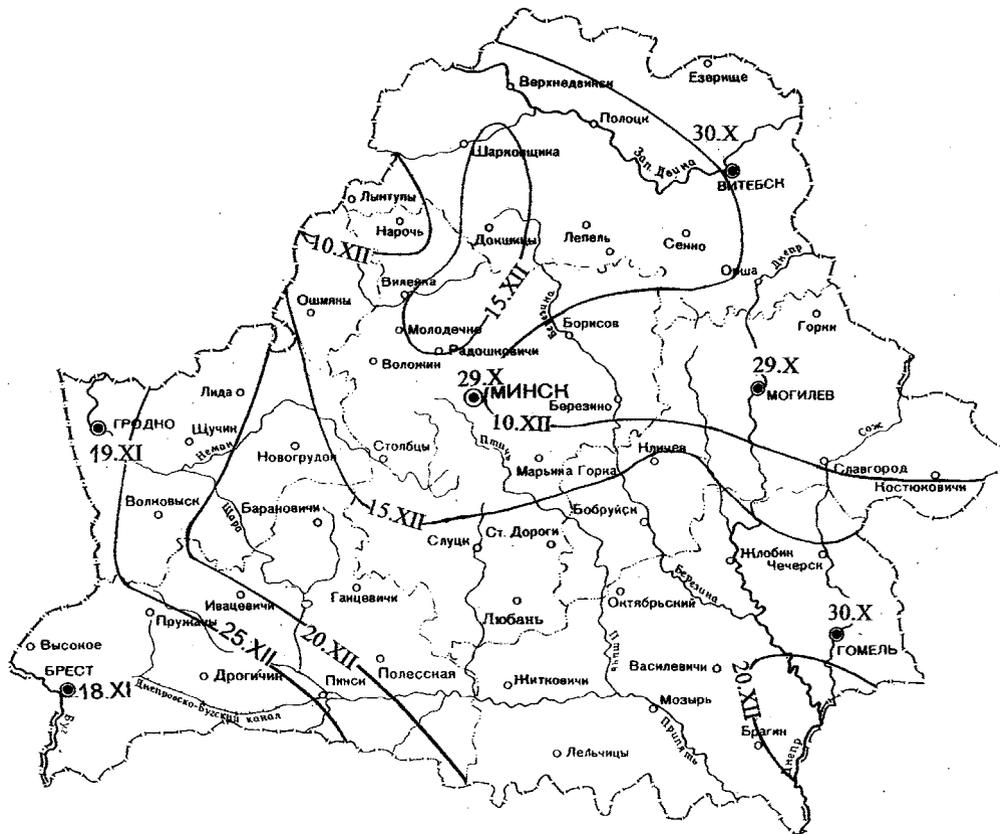


Рис. П 2.39. Даты образования устойчивого снегового покрова в Республике Беларусь

Условные обозначения:



– раньше 05.03



– 10.03



– 15.03



– 20.03



– 25.03



– позже 25.03

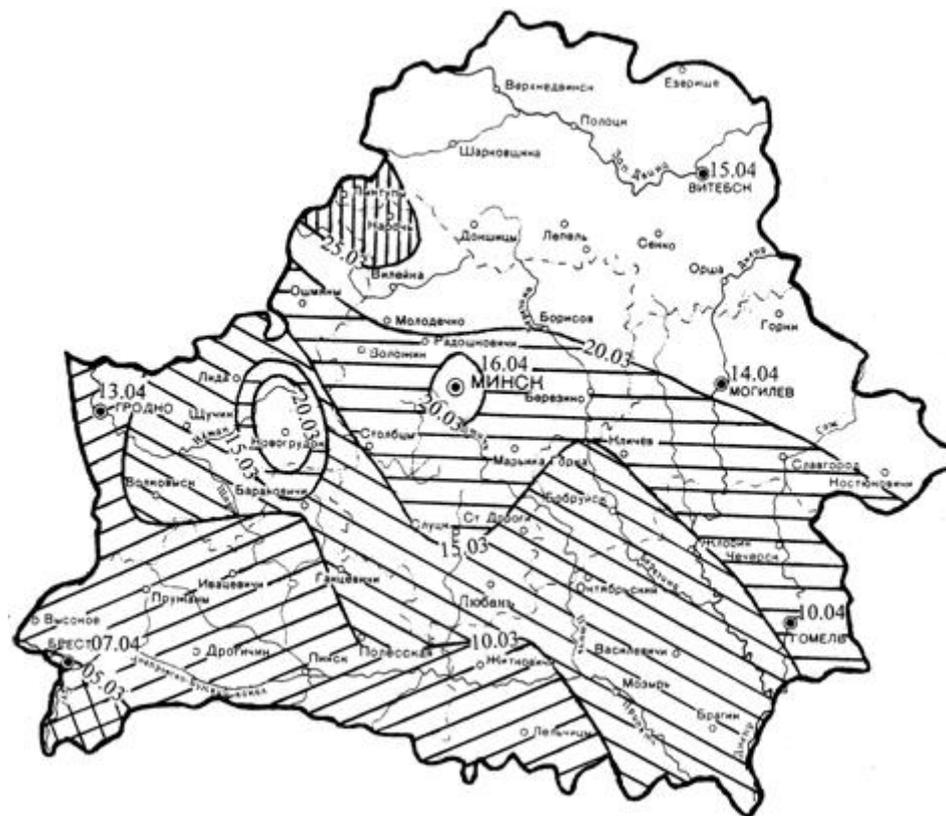


Рис. П 2.40. Даты схода устойчивого снегового покрова
(15.04 – самая поздняя дата схода)

Условные
обозначения:

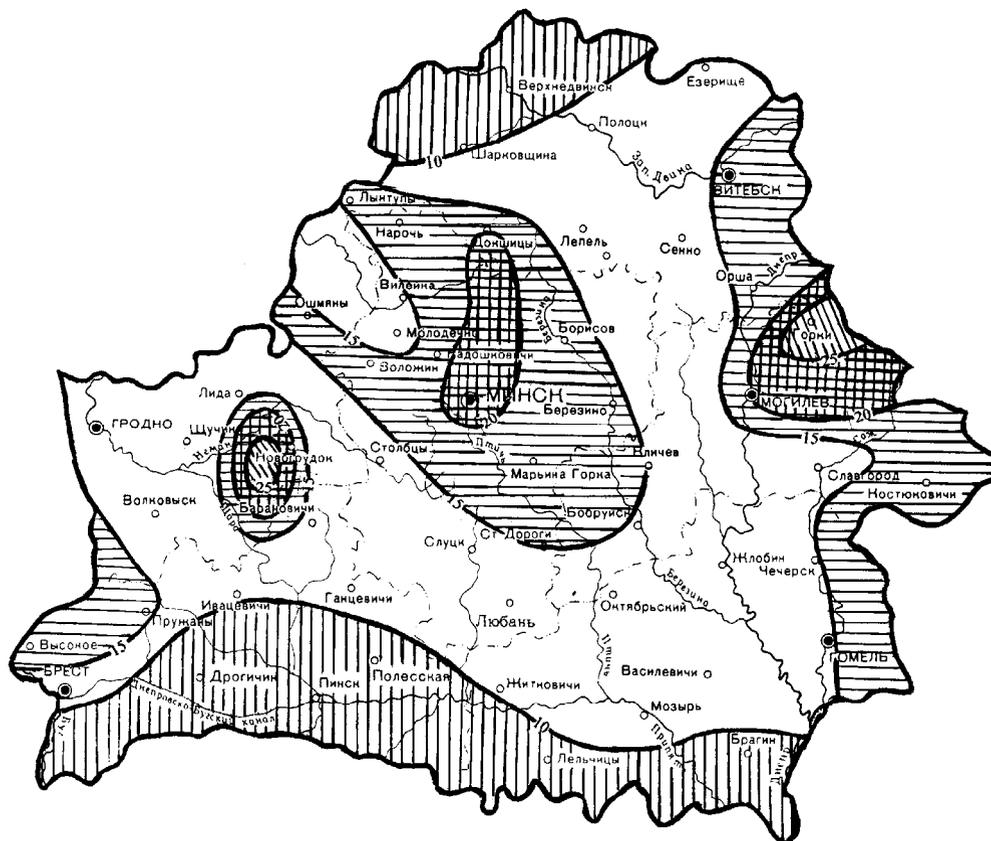
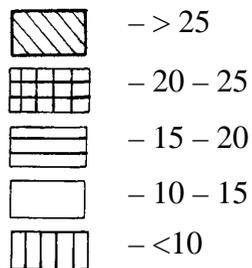


Рис. 2.42. Распределение гололеда за год

Условные
обозначения:

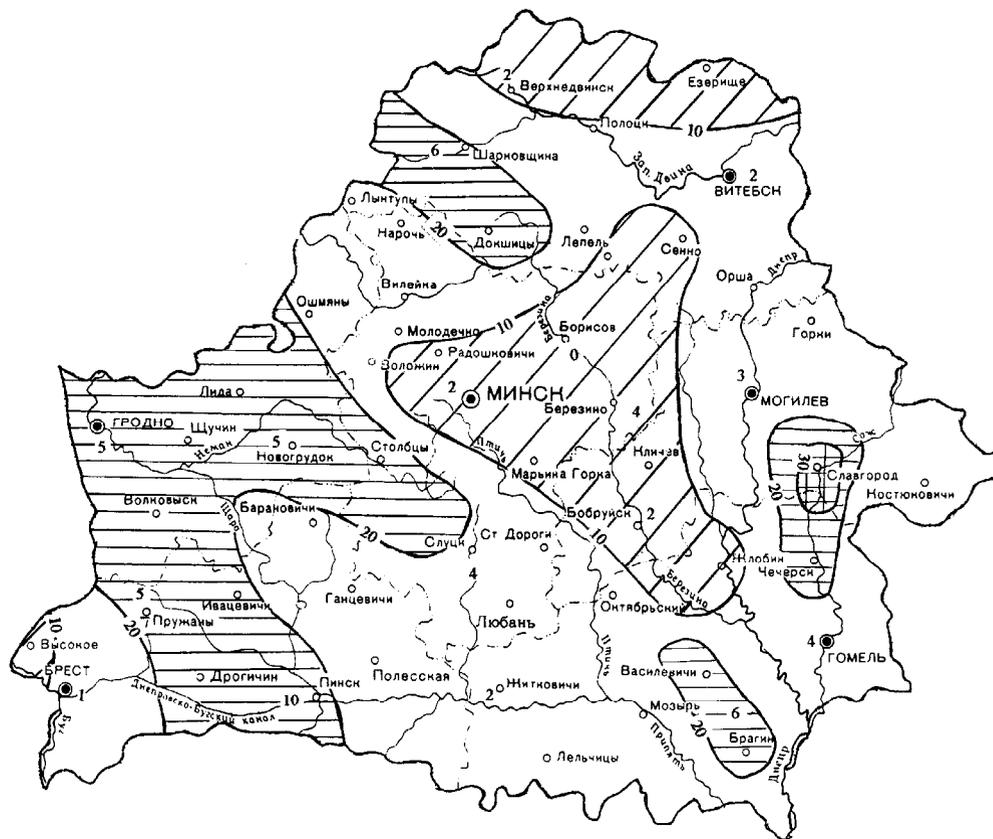
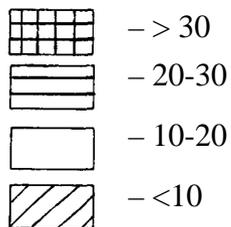


Рис. П 2.44. Распределение сильного ветра за год

Условные
обозначения:

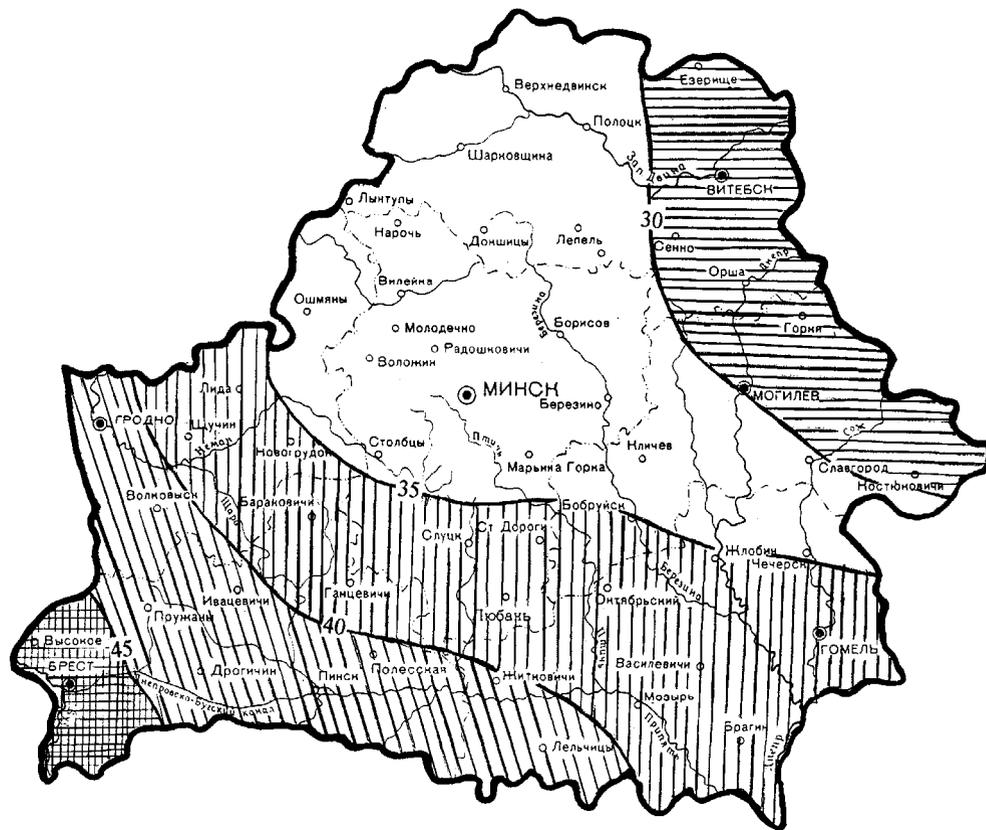
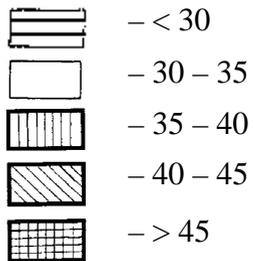


Рис. П 2.45. Распределение оттепелей в холодный период года, кол. дн.

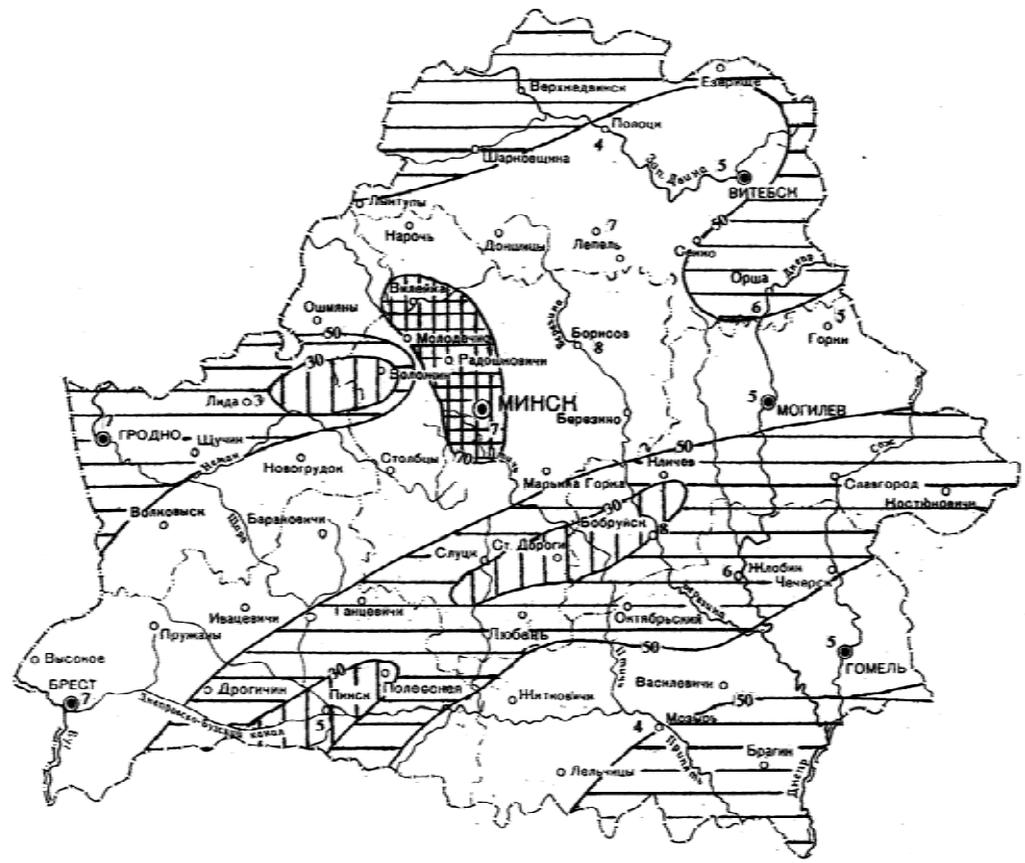
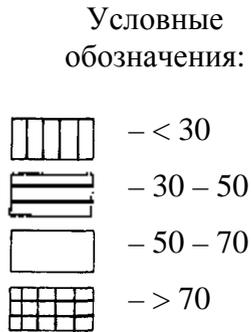


Рис. П 2.47. Распределение града за год
(5 – максимальное количество дней с градом в год)

Условные
обозначения:

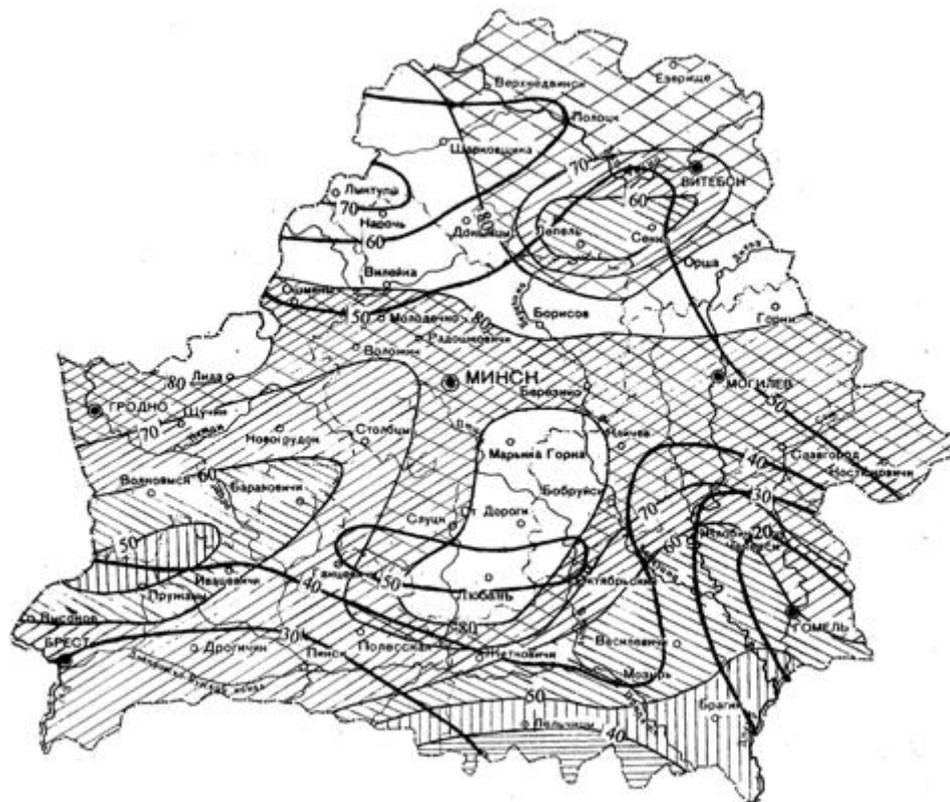
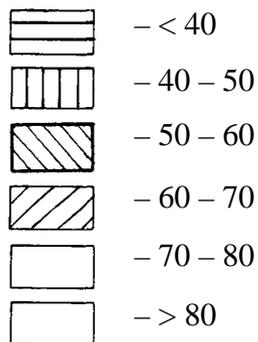


Рис. П 2.48. Распределение заморозков в мае
(50 – повторяемость лет с заморозками в воздухе, %)

Условные
обозначения:

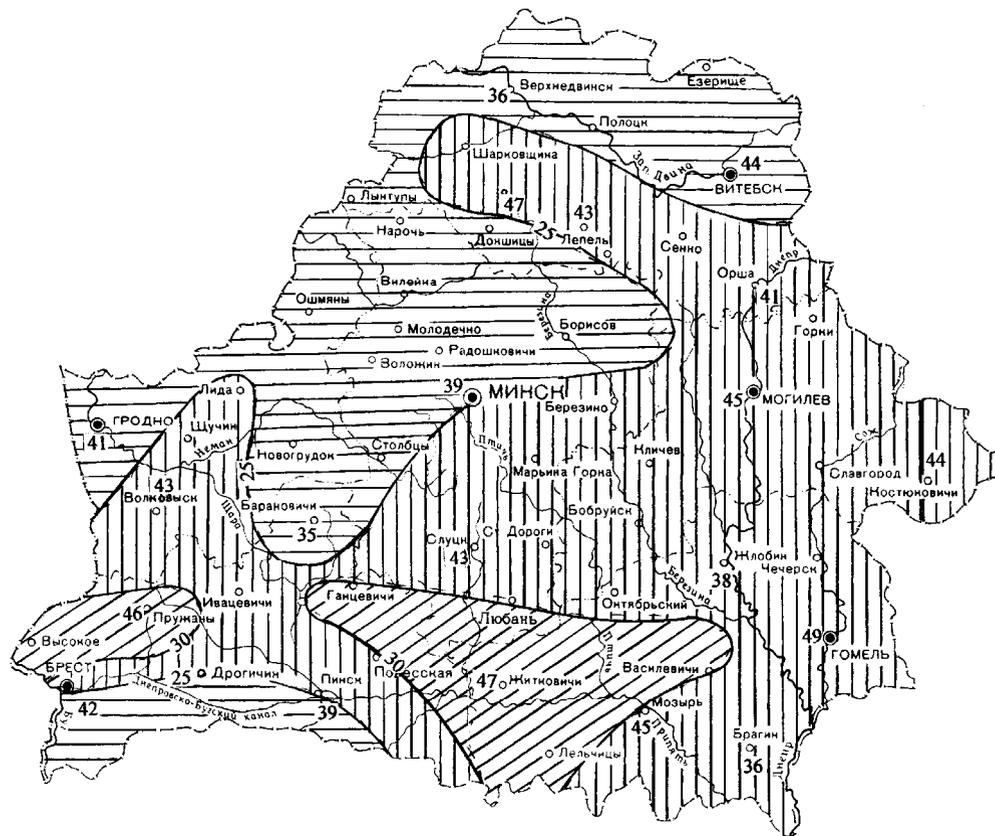
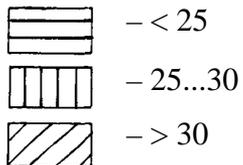


Рис. П 2.49. Распределение гроз за год

Районы:

- I₁ – Северо-западный
- II₂ – Северо-восточный
- II₁ – Юго-западный
- II₂ – Юго-восточный



Рис. П 2.50. Дорожно-климатическое районирование по РСН 14-85

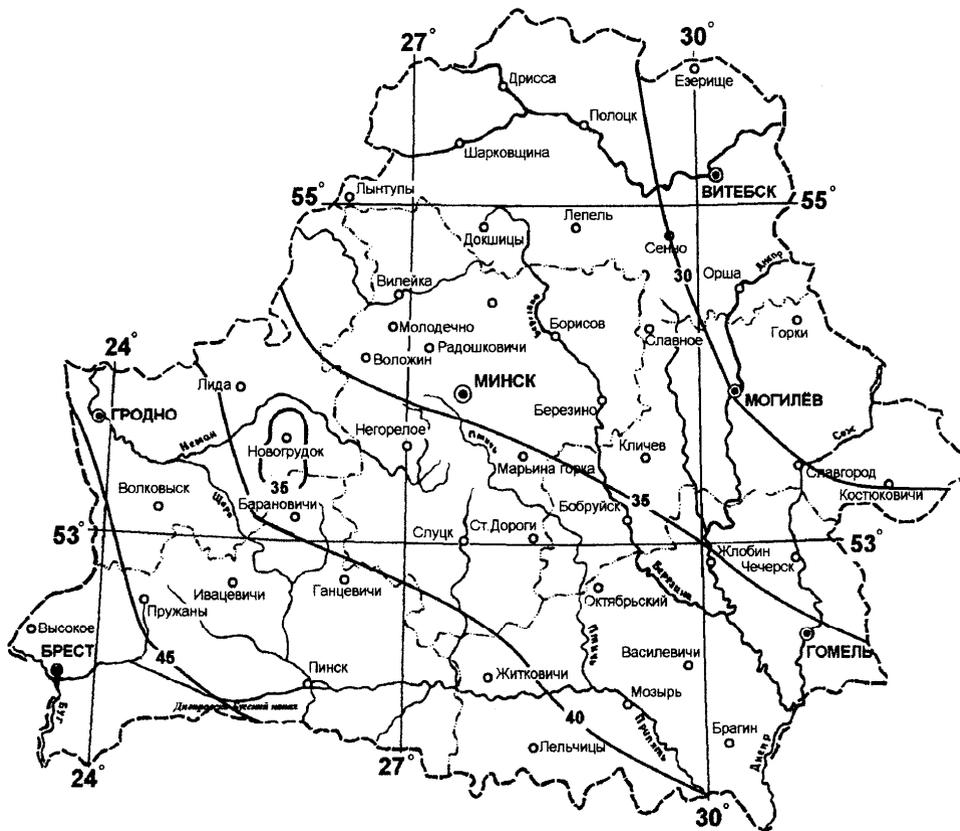


Рис. П 2.51. Распределение количества дней с оттепелью в декабре – феврале

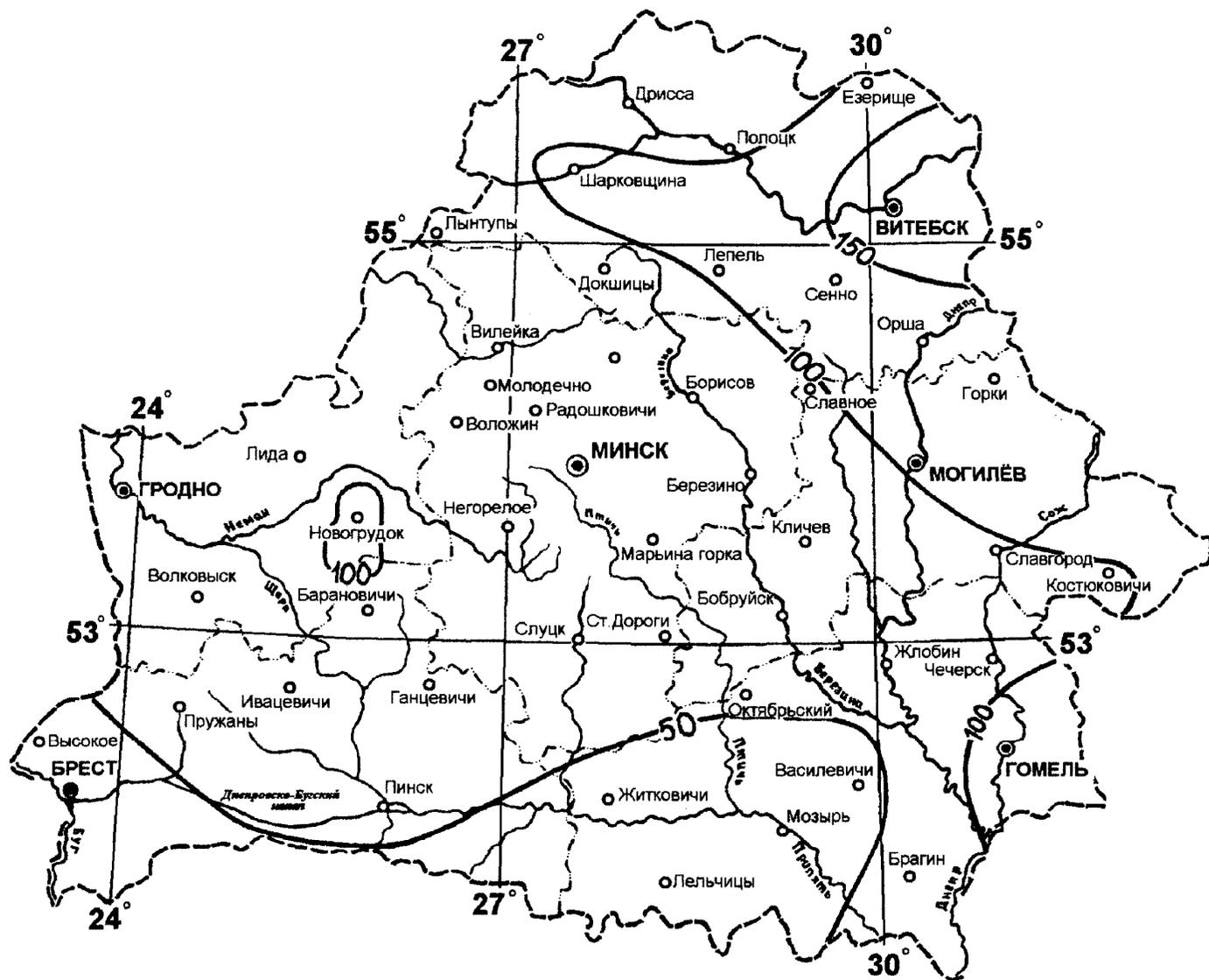


Рис. П 2.52. Распределение объемов снеготранспорта 10%-ной обеспеченности, m^3/m

Предметный указатель

1. [Адвекция](#) .
2. [Альbedo](#)
3. [Альбедометр](#)
4. [Амплитуда](#)
5. [Амплитуда температуры воздуха](#)
6. [Анализ синоптический](#)
7. [Анемометр](#)
8. [Анеморумбометр](#)
9. [Антипассаты](#)
10. [Антициклон](#)
11. [Аспиратор](#)
12. [Атмосфера](#)
13. [Атмосфера стандартная](#)
14. [Атмосферостойкость](#)
15. [Аэрозоли атмосферные](#)
16. [Аэрономия](#)
17. [Бактерии анаэробные](#)
18. [Баланс земной поверхности радиационный](#)
19. [Баланс тепловой](#)
20. [Бар](#)
21. [Барометр](#)
22. [Биогеоциноз](#)
23. [Биосфера](#)
24. [Биполярный](#)
25. [Бора](#)
26. [Бриз береговой](#)
27. [Бриз морской](#)
28. [Буран \(пурга\)](#)
29. [Ветер](#)
30. [Ветер географический](#)
31. [Ветер горный](#)
32. [Ветер градиентный](#)
33. [Ветер долинный](#)
34. [Ветер адиабатический](#)
35. [Ветролом](#)
36. [Вещество гигроскопическое](#)
37. [Видимость](#)
38. [Виды \(разновидности\) облаков](#)
39. [Влагоемкость](#)
40. [Влажность¹](#)
41. [Влажность²](#)
42. [Влажность абсолютная](#)
43. [Влажность абсолютная воздуха](#)
44. [Влажность относительная воздуха](#)
45. [Влажность относительная](#)
46. [Влажность удельная](#)
47. [Водонасыщение](#)
48. [Водопоглощение](#)
49. [Водопроницаемость](#)
50. [Водность тумана](#)
51. [Воздух](#)
52. [Воздух арктический](#)

53. [Воздух континентальный](#)
54. [Воздух морской](#)
55. [Воздух нейтральный](#)
56. [Воздух неустойчивый](#)
57. [Воздух полярный](#)
58. [Воздух тропический](#)
59. [Воздух устойчивый](#)
60. [Воздух экваториальный](#)
61. [Восхождение орографическое](#)
62. [Время поясное](#)
63. [Вторжение холодное](#)
64. [Гелиограф](#)
65. [Гетеросфера](#)
66. [Гидратация](#)
67. [Гидрология](#)
68. [Гидрометеорология](#)
69. [Гидрометеоры](#)
70. [Гололед](#)
71. [Гололедица](#)
72. [Гомосфера](#)
73. [Град](#)
74. [Градиент горизонтальный барический](#)
75. [Градиент давления](#)
76. [Градиент сухадиабатический](#)
77. [Градиент температуры вертикальный](#)
78. [Градусо-день](#)
79. [Гроза](#)
80. [Гром](#)
81. [Давление](#)
82. [Давление атмосферное](#)
83. [Давление атмосферное стандартное \(нормальное\)](#)
84. [Давление пара](#)
85. [Дальность видимости метеорологическая](#)
86. [Дальность дневной видимости](#)
87. [Движение конвективное](#)
88. [Дегидратация](#)
89. [Депрессия термическая](#)
90. [Десублимация](#)
91. [Дефицит влажности](#)
92. [Деятельность циклоническая](#)
93. [Диагенез](#)
94. [Диссоциация](#)
95. [Диффузия](#)
96. [Дождемер](#)
97. [Дождь](#)
98. [Достоверность метеорологических наблюдений](#)
99. [Дымка](#)
100. [Заносы снежные](#)
101. [Зенит](#)
102. [Значение нормальное](#)
103. [Значение среднее](#)
104. [Значение элемента среднее годовое](#)
105. [Значение элемента среднее месячное](#)
106. [Зона затишья экваториальная](#)

107. [Зона конвергенции внутритропическая](#)
108. [Зона тундры](#)
109. [Излучение восходящее длинноволновое](#)
110. [Излучение нисходящее длинноволновое](#)
111. [Излучение солнечное](#)
112. [Изморозь зернистая](#)
113. [Изморозь кристаллическая](#)
114. [Изобара](#)
115. [Изопауза](#)
116. [Изотерма](#)
117. [Инверсия](#)
118. [Индекс влажности](#)
119. [Иней](#)
120. [Инсоляция](#)
121. [Информация метеорологическая первичная](#)
122. [Информация метеорологическая фактическая](#)
123. [Ион](#)
124. [Ионизация](#)
125. [Ионосфера](#)
126. [Испарение](#)
127. [Истощение слоев](#)
128. [Калория](#)
129. [Карбонизация](#)
130. [Карта синоптическая](#)
131. [Карточка индекса ветра и мороза](#)
132. [Карты высотные](#)
133. [Карты климатические](#)
134. [Карты основные](#)
135. [Карты приземные](#)
136. [Качество метеорологических наблюдений](#)
137. [Квалиметрия](#)
138. [Классификация Кеппена](#)
139. [Классификация Торнтвейта](#)
140. [Классификация туманов](#)
141. [Климат](#)
142. [Климат города](#)
143. [Климат морской](#)
144. [Климат побережья](#)
145. [Климатография](#)
146. [Климатология](#)
147. [Климатология дорожная](#)
148. [Климатология медицинская](#)
149. [Климатология синоптическая](#)
150. [Климатология строительная](#)
151. [Климатотерапия](#)
152. [Количество осадков за год среднее](#)
153. [Количество осадков среднее](#)
154. [Конвекция](#)
155. [Конвекция динамическая](#)
156. [Конвекция тепловая](#)
157. [Конвекция термическая](#)
158. [Конденсация](#)
159. [Коэффициент прозрачности атмосферы](#)
160. [Круговорот биологический](#)

161. [Круговорот воды](#)
162. [Кульминация верхняя](#)
163. [Кульминация](#)
164. [Кульминация нижняя](#)
165. [Ландшафт](#)
166. [Магнитосфера](#)
167. [Макроклимат](#)
168. [Максимум или минимум абсолютный](#)
169. [Максимум осадков суточный](#)
170. [Масса воздушная](#)
171. [Масса воздушная теплая](#)
172. [Масса воздушная холодная](#)
173. [Мезоклимат.](#)
174. [Мезосфера](#)
175. [Метель](#)
176. [Метель верховая](#)
177. [Метель низовая](#)
178. [Метель общая](#)
179. [Метеорология](#)
180. [Метеорология синоптическая](#)
181. [Микроклимат.](#)
182. [Морось](#)
183. [Муссон](#)
184. [Наблюдения](#)
185. [Наблюдения актинометрические](#)
186. [Наблюдения метеорологические наземные](#)
187. [Наблюдения синхронные .](#)
188. [Наблюдения теплобалансовые](#)
189. [Накат снежный](#)
190. [Налет твердый](#)
191. [Направление ветра](#)
192. [Норма .](#)
193. [Обеспеченность](#)
194. [Облако](#)
195. [Облако смешанное](#)
196. [Облачность](#)
197. [Объем снегопереноса за зиму](#)
198. [Объем снегопереноса общий](#)
199. [Объем снегоприноса](#)
200. [Однородность метеорологических наблюдений](#)
201. [Озон](#)
202. [Озоносфера](#)
203. [Окклюзия](#)
204. [Осадки](#)
205. [Осадки жидкие](#)
206. [Осадки ливневые](#)
207. [Осадки морозящие](#)
208. [Осадки облачные](#)
209. [Осадки твердые](#)
210. [Осадкометр Третьякова](#)
211. [Палеоклиматология](#)
212. [Пар](#)
213. [Пар насыщенный](#)
214. [Перенасыщение](#)

215. [Переохлаждение](#)
216. [Период весенний](#)
217. [Период зимний](#)
218. [Период летний](#)
219. [Период осенний](#)
220. [Пиргелиометр](#)
221. [Плавучесть](#)
222. [Плотность](#)
223. [Плотность воздуха](#)
224. [Плотность снега](#)
225. [Повторяемость](#)
226. [Повторяемость направлений ветра](#)
227. [Повторяемость штилей](#)
228. [Погода](#)
229. [Поземка](#)
230. [Полосы падения](#)
231. [Постоянная солнечная¹](#)
232. [Постоянная солнечная²](#)
233. [Поток тепла скрытый](#)
234. [Поток тепла явный](#)
235. [Пояса климатические](#)
236. [Прецессия](#)
237. [Примеси атмосферные](#)
238. [Прогноз погоды](#)
239. [Прозрачность атмосферы](#)
240. [Процесс адиабатический](#)
241. [Процесс влажно-адиабатический](#)
242. [Психрометр](#)
243. [Пустыня](#)
244. [Равноденствия](#)
245. [Радиация](#)
246. [Радиация солнечная](#)
247. [Радиация солнечная прямая](#)
248. [Радиация солнечная рассеянная](#)
249. [Радиозонд](#)
250. [Разрыв непрерывности](#)
251. [Районирование климатическое](#)
252. [Рассеяние .](#)
253. [Режим ветровой](#)
254. [Режим климатический](#)
255. [Режим световой](#)
256. [Репрезентативность метеорологических наблюдений](#)
257. [Ресурсы климатические](#)
258. [Рефракция](#)
259. [Роза ветров](#)
260. [Роса](#)
261. [Сила барического градиента](#)
262. [Сила ветра](#)
263. [Сила Кориолиса](#)
264. [Сила центробежная](#)
265. [Синоптик](#)
266. [Сияние полярное](#)
267. [Сияние солнечное](#)
268. [Скорость ветра по румбам средняя](#)

269. [Скорость вращательная](#)
270. [Скорость, максимальная \(минимальная\) из средних](#)
271. [Слой Кеннелли-Херисайда](#)
272. [Служба прогнозов](#)
273. [Смерч водяной](#)
274. [Смог](#)
275. [Снег](#)
276. [Снегопад](#)
277. [Соленость](#)
278. [Солнцестояния](#)
279. [Состояние окружающей среды](#)
280. [Спутник](#)
281. [Сроки наблюдения](#)
282. [Степь](#)
283. [Стратопауза](#)
284. [Стратосфера](#)
285. [Ступень барическая](#)
286. [Сублимация](#)
287. [Сутки солнечные действительные](#)
288. [Сутки солнечные средние](#)
289. [Схема наноски](#)
290. [Тайфун](#)
291. [Тело черное](#)
292. [Температура](#)
293. [Температура воздуха](#)
294. [Температура воздуха наиболее жарких суток средняя](#)
295. [Температура воздуха наиболее холодного периода средняя](#)
296. [Температура воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки](#)
297. [Температура воздуха по месяцам и за год средняя](#)
298. [Температура воздуха средняя максимальная наиболее жаркого месяца](#)
299. [Температура максимальная в суточном цикле](#)
300. [Температуры воздуха абсолютная минимальная и абсолютная максимальная](#)
301. [Теплоемкость](#)
302. [Теплоемкость удельная](#)
303. [Теплопроводность](#)
304. [Теплопроводность](#)
305. [Теплостойкость](#)
306. [Теплота испарения](#)
307. [Теплота плавления](#)
308. [Теплота скрытая](#)
309. [Термик](#)
310. [Термограф](#)
311. [Термометр](#)
312. [Термосфера](#)
313. [Течение струйное](#)
314. [Топография](#)
315. [Торнадо](#)
316. [Точка росы](#)
317. [Транспирация](#)
318. [Тропопауза](#)
319. [Тропосфера](#)
320. [Туман](#)
321. [Туманы адвективно-радиационные](#)
322. [Туманы адвективные](#)

323. [Туманы внутримассовые](#)
324. [Туманы испарения](#)
325. [Туманы охлаждения](#)
326. [Туманы склонов](#)
327. [Туманы фронтальные](#)
328. [Турбулентность](#)
329. [Упругость водяного пара](#)
330. [Уровень конденсации](#)
331. [Условия метеорологические](#)
332. [Условия погодно-климатические](#)
333. [Ущелье ветровое](#)
334. [Факторы, определяющие дальность видимости.](#)
335. [Фация](#)
336. [Фирн](#)
337. [Фирнизация](#)
338. [Фирнизация снега](#)
339. [Флюгер](#)
340. [Формы облаков](#)
341. [Фронт атмосферный](#)
342. [Фронт воздушный теплый](#)
343. [Фронт воздушный холодный](#)
344. [Циклогенез](#)
345. [Циклон](#)
346. [Циклон волновой](#)
347. [Часовые пояса](#)
348. [Шар-пилот](#)
349. [Шкала Кельвина](#)
350. [Шкала Цельсия](#)
351. [Шквал](#)
352. [Штиль](#)
353. [Шторм тропический](#)
354. [Экватор](#)
355. [Экзосфера](#)
356. [Экстремум](#)
357. [Элементы климатические](#)
358. [Эффект оранжерейный](#)
359. [Ядра гигроскопические](#)
360. [Ядра конденсации](#)
361. [Ядро Земли](#)
362. [Яркость покрытия](#)
363. [Ярус облаков](#)

Литература

1. Строительная климатология: справочное пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1990.
2. Агроклиматический справочник. – Изд. 2. / Под ред. Н.А. Малишевой. – Мн., 1970.
3. Алисов, Б.П., Полтарус, Б.В. Климатология: учебник. – Мн.: Изд-во Московского университета, 1970.
4. Андриющенко, О.Н., Исупова, А.И. Как образуется климат. – Мн.: Нар. асвета, 1979.
5. Авиационная метеорология / П.Д. Астапенко [и др.]. – М.: Транспорт, 1979.
6. Берменд, Т.Г. Солнечная радиация и радиационный баланс // Мировая сеть: справочник. – Л., 1970.
7. Борисов, А.А. Климаты СССР в прошлом, настоящем и будущем. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1975.
8. Вайсберг, Дж.С. Метеорология. Погода на Земле. – Л.: Гидрометеиздат, 1980.
9. Васильев, А.П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. – М.: Транспорт, 1986.
10. Васильев, А.П., Сиденко, В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990.
11. Васильев, А.П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодноклиматических условиях. – М.: Транспорт, 1986.
12. Вейсберг, Дж. Погода на Земле. – Л.: Гидрометеиздат, 1980.
13. Великанов, М.А. Гидрология суши. – М., 1964.
14. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова. – М.: Транспорт, 1971.
15. Руководство к лабораторным занятиям по метеорологии и климатологии / А.П. Волошина [и др.]; Под ред. проф. С.П. Хромова. – М.: Изд-во Московского университета, 1975.
16. Железняков, Г.В. Гидрология и гидрометрия. – М., 1981.
17. Зимнее содержание автомобильных дорог общего пользования Республики Беларусь. РД 0219.1.18.2000.
18. Изменение климата Беларуси и его последствия / В.Ф. Логинов [и др.]. – Мн.: ОДО «Тонпик», 2003.
19. Ковриго, П.А. Микроклимат болотных экосистем и его оптимизация. – М.: Белгосуниверситет, 1995.
20. Каўрыга, П.А. Лабараторны практыкум па метэаралогіі і кліматалогіі. – Мн.: Ураджай, 1997.
21. Кондратьев, К.Я. Лучистая энергия Солнца. – Л.: Гидрометеиздат, 1954.
22. Костин, С.И., Покровская, Т.В. Климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1958.
23. Котляков, В.М. Климат Земли: прошлое, настоящее и будущее. – М.: Знание. – 1985 // Сер. «Наука о Земле». – № 12.
24. Кутевский, Б.М. Ядерные процессы в атмосфере Солнца и солнечное космическое излучение. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
25. Леонович, И.И. Дорожная климатология. – Мн., 1994.
26. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: учеб. пособие для втузов / И.И. Леонович [и др.]. – Мн., 1988.
27. Климат Беларуси / В.Ф. Логинов [и др.]. – Мн., 1996.
28. Логинов, В.Ф. Оценка антропогенного «сигнала» в изменении климата. Тезисы докладов Международной научной конференции «Научные и практические аспекты» // Оценки изменений климата и использование климатических ресурсов. – Мн.: БГУ, 2000.
29. Лосев, К.С. Климат вчера, сегодня и завтра. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
30. Масевич, А.Г. Строение и эволюция Солнца. – М.: Изд-во «Знание», 1953.
31. Матвеев, Л.Т. Основы общей метеорологии. – Л., 1965.
32. Мустель, Э.Р. Солнце и атмосфера Земли. – М., 1957.
33. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Вып. 7. – Сер. 3. Ч. 1-6. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.

34. Пивоварова, З.И. Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства // Труды Главной геофизической обсерватории. – Вып. 321. – М., 1973.
35. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций. (Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Главная геофизическая обсерватория) / Е.Н. Радомнова [и др.]. – СПб., 2000.
36. Самодурова, Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог (Ассоциация «РАДОР»). – М.: ТИМР, 2003.
37. Справочник по климату Беларуси: В 5 ч. Ч.1. Температура воздуха и почвы. – Мн., 1998.
38. Справочник по климату Беларуси: В 5 ч. Ч. 2. Осадки. – Мн., 1999.
39. Справочник по климату СССР. В 5 ч. Вып. 7. Ч. 1-5. – Л.: Гидрометеиздат, 1966-1968.
40. Строительная климатология: справ. пособие к СНиП / НИИ строит. физики – М.: Стройиздат, 1990.
41. Хомяк, Я.В., Скорченко, В.Ф. Автомобильные дороги и окружающая среда. – Киев, 1983.
42. Хромов, С.П. Метеорология и климатология для географических факультетов. – Л., 1958.
43. Хромов, С.П., Петросинец, М.А. Метеорология и климатология: учебник. – М.: Из-во МГУ, 1994.
44. Чеботарев, Н.П. Учение о стоке. – М., 1962.
45. Шкляр, А.Х. Календарь природы Белоруссии. – Мн.: Выш. школа, 1979.
46. Шкляр, А.Х. Климатические ресурсы Беларуси и их использование в сельском хозяйстве. – Мн.: Выш. школа, 1973.
47. Каўртга, П.А. Метэаралогія. – Мн.: БДУ. – 2005.
48. Автомобильные дороги Беларуси: Энциклопедия / Под общ. ред. А.В. Минина. – Мн.: БелЭн, 2002.
49. Леонович, И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог: В 2 ч. – Мн.: БНТУ, 2003.
50. Дорожная экология XIX века / Труды международного научно-практического симпозиума / Под ред. О.В. Скворцова. – Воронеж: ВГАСА, 2000.

* Подраздел написан совместно с инженером М.А. Оздемировым.

* Подраздел написан совместно с И.В. Дерманом.

* Статья М.А. Гольдберга, Б.М. Вельнского, К.М. Левитина в сб.: Труды НИИ Автоприбор. – Вып. 43. – М., 1977. – С. 50-63.

^{2[*]} Образование атмосферы и климата, их состояние и изменение тесным образом связаны с возрастом, продолжительностью и последовательностью протекающих на Земле геотермических процессов.
