

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Метеорологический факультет

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине
«ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ»

по направлениям подготовки:
05.03.05 – Прикладная гидрометеорология
(профили *прикладная метеорология и авиационная метеорология*);
05.03.04 – Гидрометеорология (*профиль метеорология и климатические риски*)

Санкт-Петербург
 **Астериск**
2026

УДК 551.58(072.5+075.8)

ББК 26.237я73

*Одобрено Учебно-методическим советом
метеорологического факультета РГГМУ*

*Рецензент: А.А. Павловский, д.г.н., зав.каф. климатологии и мониторинга
окружающей среды, Институт наук о Земле, СПбГУ.*

У91

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Прикладная климатология»
/ В.Н. Абанников, А.Б. Лебедев, О.М. Ступишина, Э.В. Подгайский, Н.О. Моисеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Астерион, 2026. – 116 с.

ISBN 978-5-00188-715-7

Пособие предназначено для студентов-бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология (профили: прикладная метеорология; авиационная метеорология; метеорология, спутниковая и цифровые технологии), 05.03.04 – Гидрометеорология по профилю метеорология и климатические риски. Рекомендовано для проведения практических аудиторных занятий со студентами дневной и заочной форм обучения и для индивидуальной работы студентов при выполнении расчётно-графической работы. Полученные практические навыки можно использовать для написания курсовых и выпускных квалификационных работ. Пособие составлено в соответствии с учебной программой. Представлены контрольные материалы для проверки знаний студентов.

Textbook and methodological manual on the discipline "Applied Climatology" /
V.N. Abannikov, A.B. Lebedev, O.M. Stupishina, E.V. Podgaysky, N.O. Moiseeva.

The manual is intended for undergraduate students of universities studying in the following fields of study: 05.03.05 – Applied Hydrometeorology (profiles: applied meteorology, aviation meteorology and meteorology, satellite and digital technologies), 05.03.04 – Hydrometeorology with a profile in meteorology and climate risks. It is recommended to support practical in-class sessions for full-time and part-time students and for students' individual work when performing computational and graphic work. The acquired practical skills can be used when writing term papers and/or final qualification papers. The manual complies with the standard curriculum. Control materials are presented to test students' knowledge.

Авторы: В.Н. Абанников, доц. РГГМУ, Институт Науки о Земле СПбГУ;
А.Б. Лебедев, доц. РГГМУ; О.М. Ступишина, доц. РГГМУ;
Э.В. Подгайский, ст. пр. РГГМУ; Н.О. Моисеева, доц. СПбГУ ГА.

Ответственный редактор: Я.В. Дробжжева, д.ф.-м.н., доц., декан
метеорологического факультета. РГГМУ.

ISBN 978-5-00188-715-7

- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2026.
- © Абанников В.Н., 2026
- © Лебедев А.Б., 2026
- © Ступишина О.М., 2026
- © Подгайский Э.В., 2026
- © Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации (СПбГУ ГА), 2026
- © Моисеева Н.О., 2026

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение.....	4
1. Место прикладной климатологии. Представление климатической информации	4
2. Строительная климатология.....	9
2.1. Оценка термического режима воздуха и почвы.....	10
2.2. Оценка солнечной радиации для строительной отрасли	17
2.3. Учет метеорологической нагрузки в строительстве	24
3. Климатическое обслуживание энергетики.....	29
3.1. Климатические нагрузки	30
3.2. Оценка потенциала альтернативных источников энергии	36
4. Транспортная климатология.....	39
4.1. Климатическое обслуживание наземного транспорта	39
4.2. Авиационная климатология.....	45
5. Агроклиматология.....	61
6. Медицинская климатология	66
6.1. Методы медицинской климатологии	66
6.2. Возможные реакции организма человека на внешние стимулы	71
6.3. Эмпирические методы оценки биоклимата.....	80
7. Микроклиматические изыскания	87
7.1. Геотопологическое районирование территорий	87
7.2. Микроклимат метеорологических характеристик	90
8. Учет опасных метеорологических явлений	94
9. Рекомендации по выполнению расчетно-графической работы	100
10. Контрольный материал: вопросы для экзамена (зачета)	104
11. Примеры тестов для контроля знаний.....	106
Список рекомендуемой литературы	107
Приложение	111

Введение

В начале становления климатологии ее задача ограничивалась обработкой накопленных рядов метеорологических наблюдений, изучением и описанием климатов Земли. Для этого использовались полученные по данным многолетних наблюдений общие климатические характеристики, тогда еще в виде средних и экстремальных значений метеорологических величин.

С развитием экономической деятельности человечества и появлением новых отраслей хозяйствования климатические данные потребовались для решения многих практических задач в разных отраслях экономики, что привело к развитию прикладной климатологии – раздела Климатологии, в котором рассматриваются возможности и методы использования *«климатических данных в целях повышения экономической эффективности производств»*.

Прикладная климатология – это применение климатических данных в оперативных задачах сельского хозяйства, техники, строительства, транспорта, авиации и других отраслей экономики [37].

Студенты заочной формы обучения могут использовать данное пособие для выполнения расчетно-графической работы по дисциплине «Прикладная климатология». Расчетно-графическая работа зачитывается при правильном выполнении всех заданий.

В заданиях, где указаны варианты, вариант выбирается по последней цифре номера зачетной книжки. Студенты, работающие в сфере гидрометеорологии, в качестве исходных материалов могут использовать собственные данные или климатические ряды и метеорологические данные результатов наблюдений на метеостанциях по месту работы.

В списке литературы приведены источники, которые были использованы для разработки данного практикума. Студенты могут воспользоваться этими источниками для закрепления полученных в ходе практических занятий, знаний и навыков.

1. Место прикладной климатологии. Представление климатической информации

Развитие прикладной климатологии обусловлено двумя основными факторами:

- 1) появление и развитие новых отраслей экономики,
- 2) совершенствование таких наук, как метеорология и климатология.

С развитием каждой отрасли человеческой деятельности возникает потребность в получении новых специальных показателей, с помощью которых учитываются их конкретные запросы, в частности, требуется проведение соответствующих климатологических исследований, на базе которых и возникают новые отрасли прикладной климатологии.

Так сформировались прикладные направления в климатологии:

- ✓ *агроклиматология,*
- ✓ *биоклиматология человека и растений,*
- ✓ *медицинская климатология,*
- ✓ *курортная климатология,*
- ✓ *морская климатология,*
- ✓ *транспортная климатология,*
- ✓ *строительная климатология.*

Таким образом, прикладная климатология связана со многими науками. Прикладная климатология является ярким примером развития научной отрасли на «стыке» наук. В свою очередь, направления прикладной климатологии также имеют отдельные подразделы.

В прикладной климатологии можно заметить характерные для других областей знания процессы интеграции и дифференциации наук, что создаёт условия для появления и развития прикладной климатологии (рис.1.1).

Климатическая информация является базовой информацией для обслуживания отраслей экономики и населения. Эта информация представлена в виде климатологических рядов, представляющих собой погодичные данные метеорологических наблюдений. Для решения прикладных задач необходимо уметь получать климатическую информацию, визуализировать её, обрабатывать и обобщать. Перечень информации довольно обширный, но особо важными являются следующие показатели:

- 1) средние значения метеорологических величин;
- 2) среднее число случаев метеорологического явления или среднее число дней с явлением;
- 3) абсолютное и среднее максимальное и минимальное значения метеорологических величин;
- 4) повторяемость разных значений или градаций метеорологических величин или явлений;
- 5) обеспеченность, т. е. вероятность превышения или непревышения заданного значения метеорологической величины;
- 6) изменчивость (дисперсия) метеорологической величины, т. е. размах колебаний ее значений около средней величины;
- 7) период возврата явления или значения метеорологической величины;
- 8) средние даты наступления (или окончания) явления;
- 9) средние даты установления и разрушения устойчивого снежного покрова, начала и окончания безморозного периода, устойчивого перехода температуры через 0° , и другие;
- 10) стандартные отклонения от среднего значения.



Рис.1.1. Формирование и связь прикладной климатологии с другими науками

Эти показатели приведены в климатических справочниках, их обрабатывают с использованием статистических методов обработки и получают необходимые характеристики. Для наглядного представления этих показателей используют графические методы (графики годового хода среднемесячных значений метеовеличин, гистограммы повторяемости, корреляционные графики и т.д.).

Наряду с оценкой специализированных климатических показателей для различных отраслей хозяйственной деятельности в рамках прикладной климатологии осуществляется анализ и оценка климатических ресурсов. Понятие «климатический ресурс» можно толковать, как в узком понимании, так и в широком. В первом случае под климатическими ресурсами понимают *особенности климата территории, оцениваемые совокупностью элементов теплового светового, ветрового режима и режима увлажнения, используемые для решения социально-экономических задач с целью улучшения качества жизни и улучшения благосостояния населения* [Исаев А.А.]. В широком понимании под климатическими ресурсами принимают *запасы вещества, энергии и информации в климатической системе (прежде всего в атмосфере), которые используются или могут быть использованы для решения конкретной задачи в экономике и социальной сфере* [«Энциклопедия климатических ресурсов РФ», СПб., ГГО им.А.И.Воейкова, 2005].

Климатические ресурсы относятся к ресурсам атмосферы, являются неисчерпаемыми природными ресурсами и, обладая способностью к возобновлению, практически неограниченны по своим запасам. Однако, определяя климатические ресурсы как неограниченные, следует отметить, что усиливающаяся

антропогенная нагрузка на природную среду, в том числе и на атмосферу, может существенно ухудшить качество климатических ресурсов. Поэтому, несмотря на кажущуюся неисчерпаемость климатических ресурсов, важнейшим направлением в их изучении и использовании являются вопросы охраны и рациональности использования.

Климатические ресурсы обладают как положительными свойствами (ресурсы тепла, влаги, света, ветра), которые, например, используются для выработки электроэнергии с помощью ветроэнергетических и гелиоустановок, так и отрицательными, требующие устройство ограждающих и защитных конструкций (ветро- и солнцезащита, учёт снеговых и других типов нагрузок).

Кроме этих свойств климатические ресурсы характеризуются:

- ограниченностью ресурсов – изменчивость климатических характеристик;
- ценой – денежная оценка климатической продукции (информации);
- особенностью реализации – практическое результативное использование в конкретной области.

Делятся по отраслевому признаку – строительные, агроклиматические, энергоклиматические и т. д. Обладают территориальным признаком – региональные, местные и локальные. Общим показателем климатических ресурсов является потенциальные климатические ресурсы (ПКР).

Задание 1.1. По данным среднемесячных значений температуры воздуха (<https://pogodaiklimat.ru/climate.php>) построить график годового хода температуры воздуха (или из табл.А, Приложения для ст. Елецкая, Коми ЦГМС, за любой год). Определить периоды наступления максимальных и минимальных значений, а также годовую амплитуду температуры воздуха.

Рекомендации. Для построения графика использовать миллиметровую бумагу, EXCEL или библиотеку Matplotlib языка Python. По оси ординат распределить температуру воздуха в масштабе 5 мм – 1°C, по оси абсцисс – месяцы (15 мм – 1 месяц). Положение оси абсцисс соответствует 0°C. Среднемесячные значения температуры воздуха нанести в виде столбчатой диаграммы с вершиной столбика, соответствующей среднемесячной температуре воздуха. Затем через середину вершины столбика провести плавную кривую линию, тем самым получая кривую годового хода температуры воздуха (рис.1.2.).

В процессе обобщения метеорологической информации для прикладных целей часто приходится определять повторяемость разных значений или градаций метеорологических величин или явлений. Такой подход позволяет сделать предварительные выводы о характере процесса, с точки зрения соответствия нормальному закону распределения, а в последствии рассчитать статистические характеристики распределения.

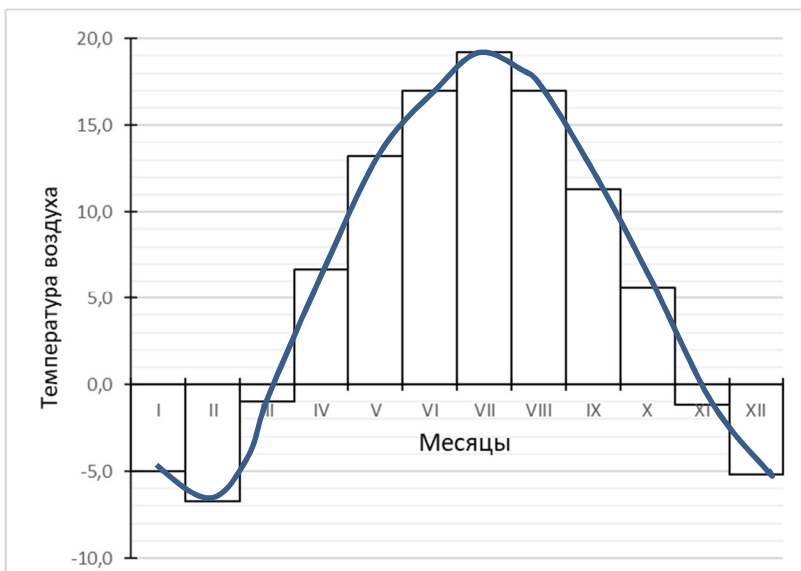


Рис. 1.2. Годовой ход температуры воздуха

Задание 1.2. По данным среднемесячных значений температуры воздуха на ст. Елецкая (табл. А., Приложение) определить повторяемость температуры воздуха в соответствующих градациях за любой выбранный месяц. Построить гистограмму в EXCEL или с помощью кода Python и сделать предварительный вывод о характере кривой распределения и её соответствия нормальному закону распределения.

Рекомендации. Для построения гистограммы необходимо придерживаться следующей схемы [5]:

- 1) ширина градации рассчитывается по следующей формуле:

$$i = \frac{x_{max} - x_{min}}{S}, \quad (1.1)$$

где S - число градаций, где $S = \sqrt{n}$ или $S = 1 + \log_2 n$ (правило Стёрджеса, предпочтительно при $n \geq 30$), где n - объём выборки (число лет наблюдений).

Если получается дробное значение, то его можно округлить до целого. Весь числовой ряд разбивается на равные градации таким образом, чтобы минимальное значение вошло в первую градацию, а максимальное – в последнюю.

- 2) правая и левая границы не должны перекрываться, т.е. применять полуоткрытый интервал $[a, b)$;

- 3) определить частоту попадания значений числового ряда в ту или иную градацию, при этом m_i - частота попаданий значений x_i в соответствующую градацию;
 - 4) рассчитать вероятность попаданий в каждую градацию по приведенной формуле – $P_i = m_i/n$;
 - 5) по данным P_i построить гистограмму распределения и дифференциальную кривую, а также интегральные кривые.
- На рис.1.3. приводится пример построения гистограммы.

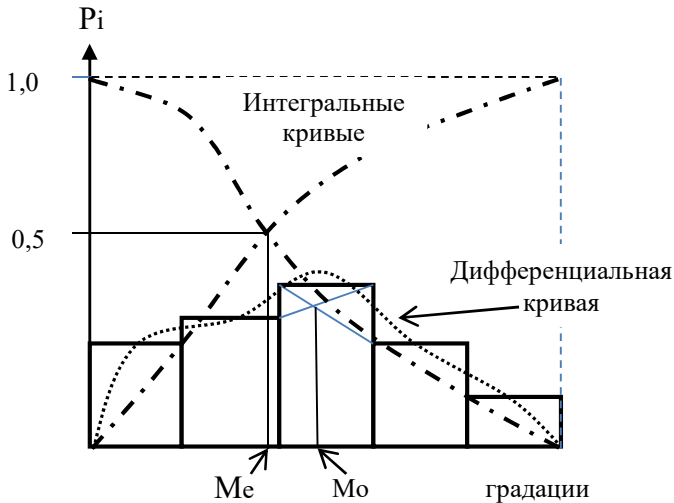


Рис.1.3. Изображение гистограммы

Дифференциальная кривая проводится через середины вершин прямоугольников. На данном этапе, по виду кривой (*плотности распределения*) уже можно сделать предварительные выводы о характере распределения.

2. Строительная климатология

Строительная климатология обеспечивает потребности в разносторонней научно-прикладной информации, предъявляемые в строительной сфере в виде различных расчетных метеорологических параметров, климатических характеристик, специфического климатического районирования, климатических паспортов населенных пунктов и др. Она является основой для проектирования градостроительных комплексов и планировки жилых массивов, для обеспечения энергоэффективности зданий, потребляющих в процессе строительства и эксплуатации минимальное количество энергии.

Климатические факторы не являются главными в строительной отрасли и определяющими стоимость объектов строительства. Но нельзя недооценивать их значение, поскольку учет климатических данных способствует более рациональному функционированию строительной отрасли.

Климатология строительная – раздел строительной физики, рассматривающий климатические воздействия на здания и сооружения и развивающийся на основе достижений физики атмосферы и общей климатологии [БЭПС-2004].

В рамках строительной климатологии выделяют следующие направления:

1) *учет влияния климатических условий при планировке зданий, сооружений и населенных пунктов;*

2) *учет климатических условий при строительстве и эксплуатации жилищ и объектов:*

- температура воздуха,
- температура почвы,
- солнечная радиация,
- влажность воздуха и осадки,
- ветер,
- комплексный учет метеорологических факторов.

3) *метеорологические нагрузки на сооружения:*

- ветровые нагрузки;
- гололедные и гололедно-ветровые нагрузки;
- гололедные нагрузки;
- ветровые нагрузки при гололеде;
- результирующие нагрузки при гололедно-изморозевых отложениях;
- методика определения, гололедных нагрузок на элементы конструкций различной конфигурации;
- снеговые нагрузки.

Основным источником информации о климате для строительной отрасли в настоящее время являются климатические справочники и СНиП. По климатическим данным разработано несколько СНиП. Однако, для решения прикладных задач климатических данных недостаточно, поэтому необходимо проводить более детальный анализ этих данных и осуществлять расчет специализированных показателей.

2.1. Оценка термического режима воздуха и почвы

Анализ термического режима следует начинать с оценки годового хода среднемесячной температуры воздуха (почвы). Годовой ход среднемесячной температуры воздуха рекомендуется нанести на лист с миллиметровой разметкой. Можно выполнить это и в таблично-графическом редакторе EXCEL. На основе кривой годового хода температуры воздуха: определяют самый холодный и теплый месяцы; по датам перехода температуры воздуха через 0°C определяют даты наступления и завершения теплого сезона и его продолжительность;

по датам перехода температуры воздуха через $+8^{\circ}\text{C}$ определяют даты наступления и завершения отопительного сезона и его продолжительность.

Задание 2.1. По данным среднемесячных значений температуры воздуха определить даты устойчивого перехода температуры воздуха через $+8^{\circ}\text{C}$ осенью и весной для расчета продолжительности отопительного периода.

Для холодного сезона определить расчетную температуру наиболее холодной пятидневки и самых холодных суток, а также вентиляционную температуру. Для теплого сезона рассчитать среднюю температуру воздуха за наиболее жаркие сутки.

Рекомендации. Для выполнения работы следует воспользоваться данными из предыдущего задания 1 и графиком годового хода температуры воздуха. От значения температуры $+8^{\circ}\text{C}$ чертится прямая горизонтальная линия. В точках пересечения с кривой температуры воздуха проводится перпендикуляр к горизонтальной оси. В точках пересечения перпендикулярных линий определяются даты перехода температуры воздуха через $+8^{\circ}\text{C}$ (рис.2.1). Для удобства подсчета продолжительности отопительного периода график годового хода среднемесячной температуры воздуха, согласно Свода правил СП 131.13330.2018 (СНиП 23-01-99*) [28], можно начинать с июля месяца, как на рисунке 2.2.

Далее подсчитывается продолжительность отопительного периода в днях.

Расчетная температура наиболее холодной пятидневки (t_5) [$^{\circ}\text{C}$] определяется по формуле 2.1

$$t_5 = 1,25t_x - T, \quad (2.1)$$

где t_x – среднемесячная температура воздуха за самый холодный месяц.

Самые холодные сутки определяются по формуле 2.2:

$$t_l = 1,31t_x - T_l, \quad (2.2)$$

Значения T и T_l – это постоянные коэффициенты, зависящие от региона (табл.2.1, рис. 2.3., 2.4) [37].

Таблица 2.1. Показатели T и T_l [$^{\circ}\text{C}$]

Район	IB	IA	I	II	III	IV		
T	20,6	17,6	14,6	11,6	8,6	5,6		
Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
T_l	24	21	18	15	12	9	6	3

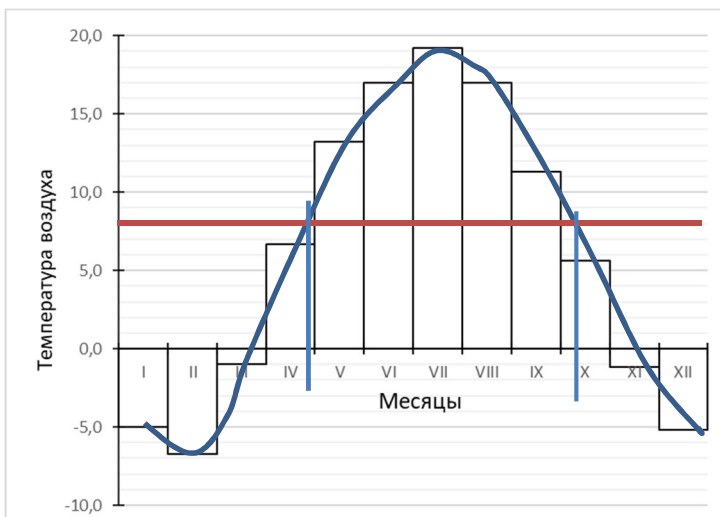


Рис. 2.1. Пример определения дат перехода температуры воздуха через +8°C

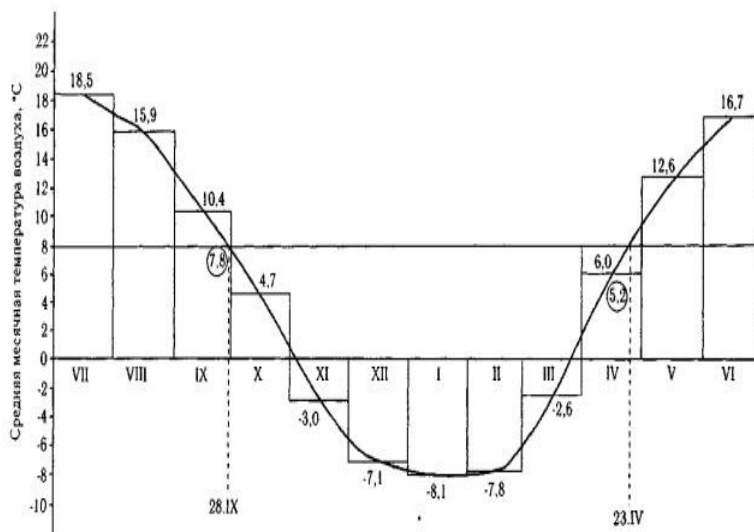


Рис.2.2. Пример определения продолжительности отопительного сезона (пгт.Черусти)

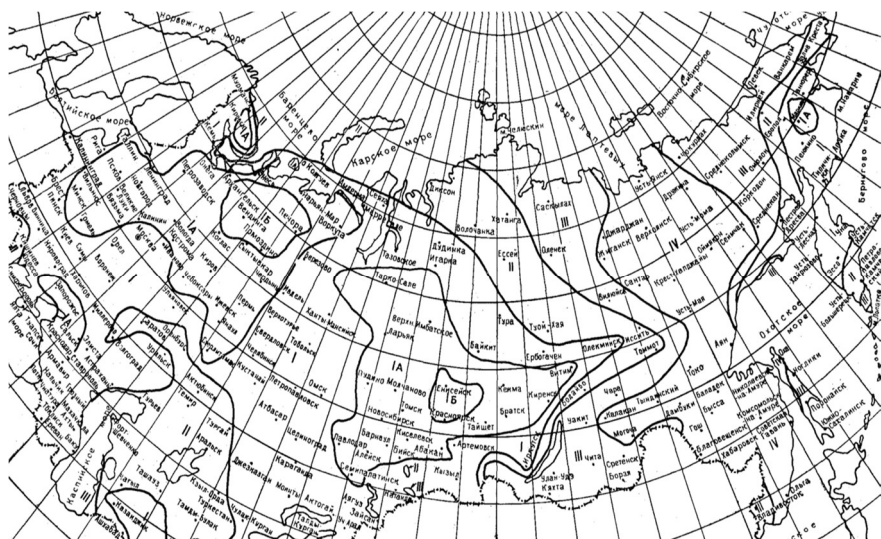


Рис.2.3. Районирование по коэффициенту T

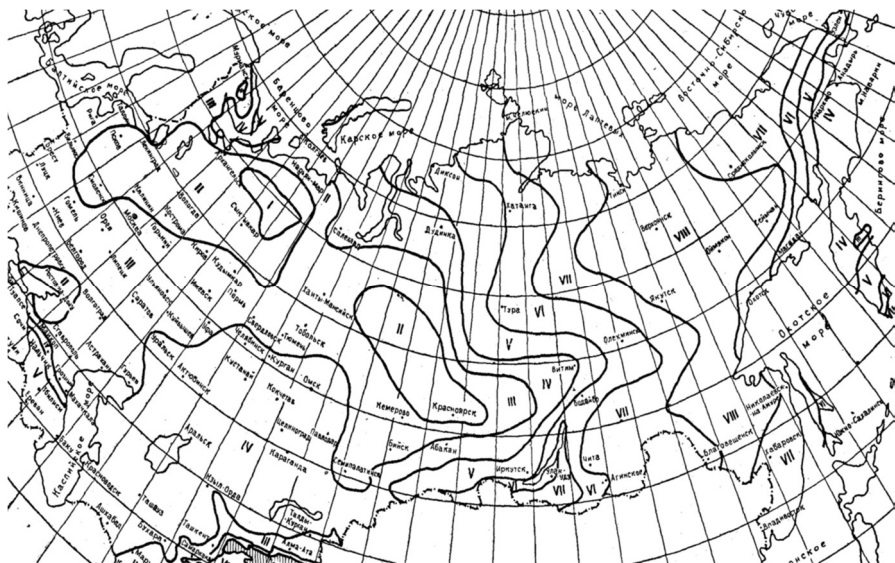


Рис.2.4. Районирование по коэффициенту T_1

Вентиляционная температура (t_B) [°C], используемая при проектировании вентиляции, определяется как средняя температура воздуха за наиболее холодный период, составляющий 15% от общей продолжительности отопительного периода, её можно рассчитать по формуле (2.3).

$$t_B = 1,125 t_x - T_2, \quad (2.3)$$

Значение T_2 [°C] – это результат климатического районирования и выделения на территории России трех районов: район *A* – южное побережье Крыма со значением -6,5°С; район *B* – включает всю Европейскую территорию РФ, Западную Сибирь, Чукотку, Камчатку (исключая западное побережье) со значением -3,0°С; район *B* – входит большая часть Восточной Сибири, Приморский край и горные районы страны со значением 0,5°С

К расчетным температурам теплого периода года относится показатель – средняя температура воздуха за наиболее жаркие сутки ($t_{н.ж}$) [°C]. Эта температура используется при теплотехнических расчетах зданий в тех районах, где средняя температура воздуха в 13 ч в летние месяцы превосходит 25°С. Эта характеристика температурного режима не входит в расчеты ограждающих конструкций, а служит лишь для определения границ районов, в которых должны быть предусмотрены меры борьбы с перегревом зданий.

Среднюю температуру воздуха наиболее жарких суток определяют, как среднее значение из температур воздуха за самые жаркие сутки за 8 лет с самой высокой среднесуточной температурой из 50-летнего периода наблюдений.

Значение $t_{н.ж}$ может быть найдено по формуле (2.4).

$$t_{н.ж} = t_{ж} + T_m, \quad (2.4)$$

где $t_{ж}$ [°C] – средняя температура воздуха наиболее жаркого месяца, T_m – постоянная величина, определяемая по карте (рис.2.5); значения T_m по территории РФ меняются от 5 - 6°С на юге до 14 -15°С на севере.

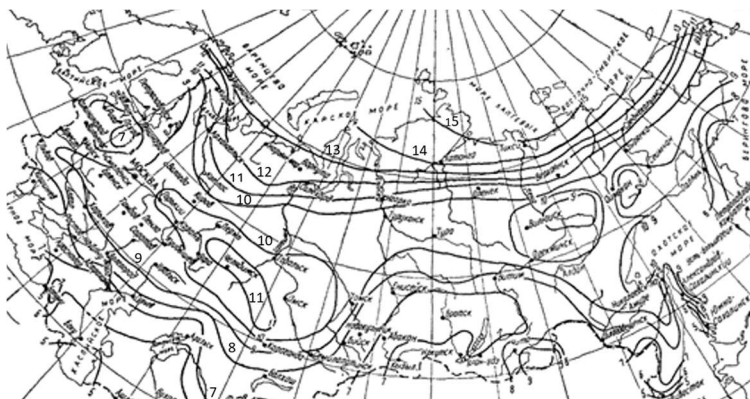


Рис.2.5. Карта для определения постоянной величины T_m

Термический режим почвы.

Устойчивость строительных объектов сильно зависит от долговечности их несущих конструкций и фундамента. В настоящее время используются следующие типы фундаментов: ленточные, свайные, комбинированные свайно-ленточные и заливные бетонные плиты. Для того, чтобы правильно выбрать и рассчитать фундаменты для зданий, необходимо знать:

- 1) состав грунта (т. е. геологические условия);
- 2) уровень залегания грунтовых вод (гидрологические условия);
- 3) теплофизические свойства почвы и грунтов;
- 4) глубину промерзания почвы;
- 5) характер постройки (жилое здание или здание промышленного назначения, этажность, наличие подвалов и их назначение, наличие нагрузки на грунты от соседних зданий).

Состав грунтов и их влагосодержание определяют теплопроводность почвы. Чем больше теплопроводность почвы, тем больше глубина ее промерзания. Например, наибольшей теплопроводностью обладают горные породы, поэтому они быстрее и глубже промерзают. Открытые участки промерзают сильнее, чем участки почвы, находящиеся под растительностью или взрыхленные. От влажности почвы зависят ее теплопроводность и теплоемкость. С увеличением влажности теплопроводность почвы увеличивается. Размер частиц почвы, ее состав и прочность оказывают меньшее влияние на теплопроводность, чем влажность [37].

Глубина промерзания почвы важна при закладке фундаментов, а также при проектировании подземных сооружений (коммуникаций, трубопроводов, метро, тоннелей и т. д.). Она зависит от многих факторов (географической широты, высоты над уровнем моря, наличия растительного и снежного покрова, от влажности почвы, ее состава и свойств).

За нормативную глубину промерзания почвы h_n принята средняя из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунтов за 10 лет наблюдений на участках под оголенной от снега поверхностью почвы. По результатам анализа была установлена зависимость между глубиной сезонного промерзания почвы и абсолютным значением суммы средних месячных отрицательных температур воздуха за холодный период года. Нормативная глубина промерзания почвы рассчитывается по формуле (2.5) [37]:

$$h_n = c\sqrt{\sum|t| + 2}, [\text{см}] \quad (2.5)$$

где $\sum|t|$ - абсолютное значение суммы отрицательных температур воздуха за холодный сезон; c – коэффициент, зависящий от состава почвы (для глинистых и суглинистых почв $c = 23$, для супесчаных почв $c = 28$, для песков $c = 30$).

Согласно [13] для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение можно определить по формуле: $d = d_0 \cdot M^{1/2}$,

где M – безразмерный коэффициент, равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе, а при отсутствии в нем данных для конкретного пункта или района строительства – по результатам наблюдений гидрометеорологической станции, находящейся в аналогичных условиях с районом строительства; d_o – коэффициент, зависящий от состава почвы.

Согласно СП 22.13330.2016 (табл. 5.1) d_o :

- 1) крупнообломочные грунты – $d_o = 0,34$ м;
- 2) пески гравелистые, крупные и средней крупности – $d_o = 0,30$ м;
- 3) супеси, пески мелкие и пылеватые – $d_o = 0,28$ м;
- 4) суглинки и глины – $d_o = 0,23$ м.

Задание 2.2. По данным среднемесячных значений температуры почвы на разных глубинах (приложение Табл. В) построить термоизоплеты годового хода температуры почвы и определить глубину промерзания почвы. Рассчитать нормативную глубину промерзания почвы.

Рекомендации. Пример построения графика изоплет приводится на рис.2.6.

Определить глубину нахождения изоплеты со значением 0°C , которая и будет обозначать глубину промерзания почвы.

По среднемесячным значениям температуры почвы на поверхности определить нормативную глубину промерзания почвы.

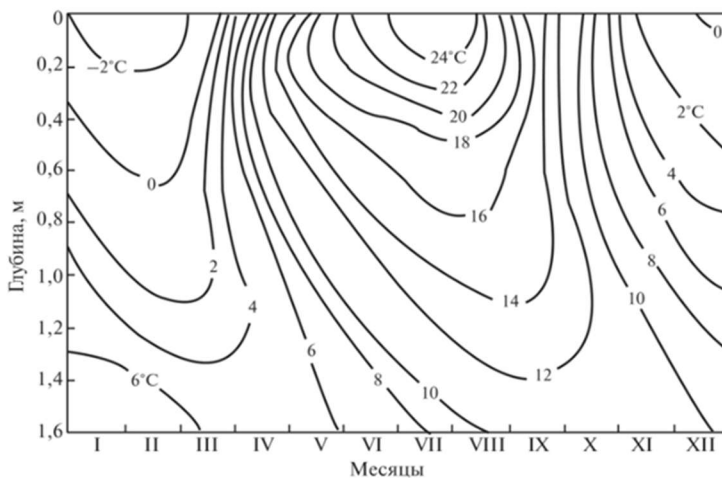


Рис.2.6. Термоизоплеты годового хода температуры почвы [17]

2.2. Оценка солнечной радиации для строительной отрасли

Солнечная радиация в строительной отрасли учитывается во многих контекстах, для которых наиболее важными параметрами являются продолжительность солнечного сияния и солнечная энергия в широком диапазоне излучений, от ультрафиолетовых до инфракрасных диапазонов. Солнечное сияние, продолжительность светового дня влияют на обеспечение требуемой освещенности жилых и рабочих помещений, количество потребной для человеческого организма ультрафиолетовой радиации. При учете влияния солнечной энергии на строительные объекты прежде всего используются средние количества тепла, поступающие от солнца на горизонтальную и вертикальную поверхности в виде прямой, рассеянной и суммарной радиации. Все эти факторы в совокупности влияют на световой и тепловой режимы ограждающих конструкций и внутренних помещений, создавая комфортные или некомфортные условия для труда и отдыха человека.

Солнечное сияние, продолжительность светового дня, облучение солнечными лучами объектов строительства, помещений, территорий застройки и местопребывания людей принято выражать таким понятием, как инсоляция.

Выделяют три вида инсоляции:

- 1) астрономическая инсоляция характеризуется вращением Земли вокруг своей оси, имеющей угол наклона $66,55^\circ$ к эклиптике и годовым оборотом вокруг Солнца;
- 2) вероятная инсоляция, которая зависит от состояния атмосферы и режима облачности. Продолжительность вероятной инсоляции составляет примерно 50% от астрономической и зависит, в основном, от высоты Солнца над линией горизонта;
- 3) фактическая инсоляция определяется только фактическими приборными наблюдениями и зависит от широты местности, угла падения солнечных лучей, ориентации и формы строительных объектов, размеров оконных проемов, наличия лоджий, балконов и других архитектурных элементов.

Прямые солнечные лучи обладают оздоровительным и бактерицидным свойствами. Для обеспечения оздоровительного воздействия инсоляции санитарными нормами устанавливается необходимое время ежедневной непрерывной инсоляции для определенного периода года.

Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите территорий и помещений жилых и общественных зданий определяются в СНиПах.

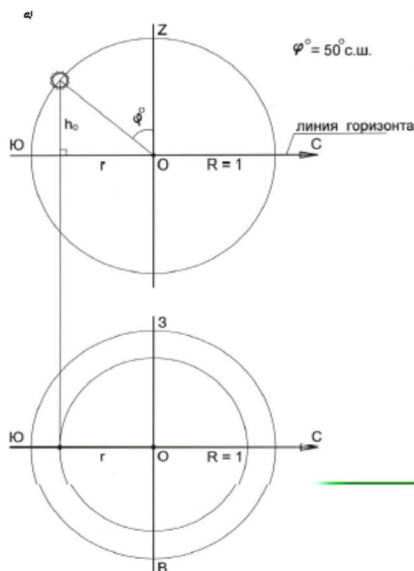
Нормативная продолжительность инсоляции устанавливается на определенные календарные периоды с учетом географической широты местности (таблица 2.2).

Таблица 2.2. Нормативная продолжительность инсоляции [12]

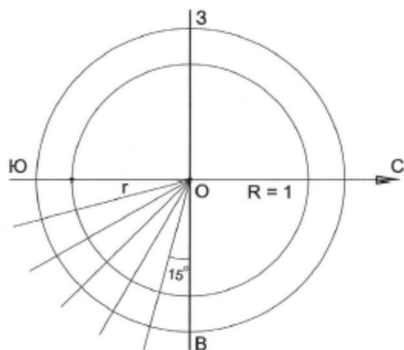
Широта	Период	Нормативная продолжительность инсоляции в день
Более 58° с. ш.	с 22/IV по 22/VIII	не менее 2,5 ч
$58-48^{\circ}$ с. ш.	с 22/III по 22/IX	не менее 2,0 ч
менее 48° с. ш.	с 22/II по 22/X	не менее 1,5 ч

Задание 2.3. Построить инсоляционный график для широты 55° . По полученному шаблону инсоляционного графика определить продолжительность инсоляции в интересующей точке, например, для внутриквартальной площадки детского сада на территории некоторого города. Программный расчёт инсоляции возможен также с использованием библиотеки `pvlib` (Python); например, функция `pvlib.solarposition.get_solarposition` позволяет получить высоту и азимут Солнца для заданной широты и дня года.

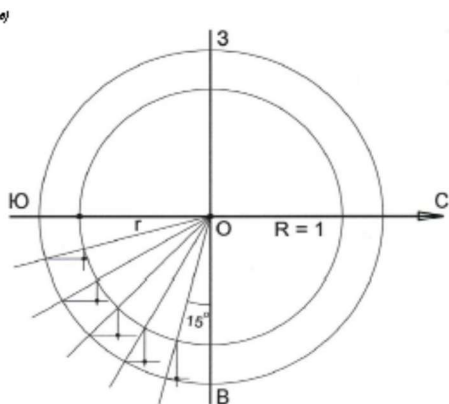
Рекомендации. Для построения инсоляционного графика необходимо использовать бумагу формата A4 и следовать рекомендации, приведенной ниже [11, 15, 16]. На бумаге с помощью угольника нарисовать перпендикулярные линии, соединяющие север с югом, запад с востоком. Линия Юг-Север должна быть размещена горизонтально. С центром в точке пересечения осей координат нарисовать круг с диаметром 6,2 см. Далее следовать очередности рисунков.



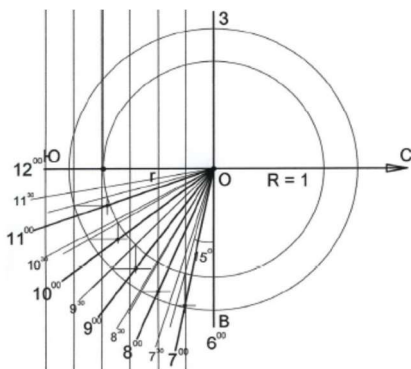
В нашем случае угол $\varphi=55^\circ$ с.ш. нанести транспортиром. От оси юг-север провести перпендикуляр до точки пересечения линии угла с кругом. Нанести вторую малую окружность, как показано на рисунке. Провести линии до пересечения с большой окружностью через 15 гр. на участках восток-юг и юг-запад.



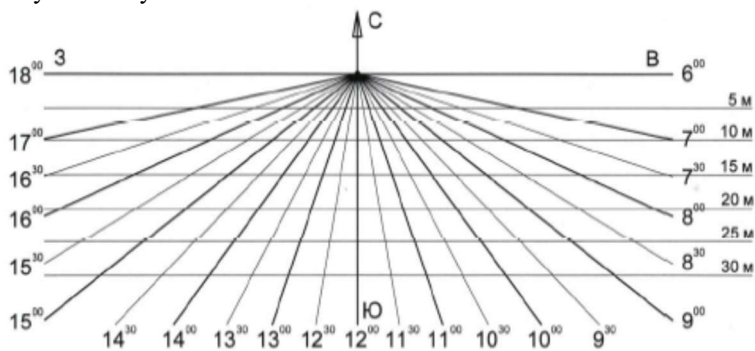
После нанесения этих линий определить точки на пересечении перпендикуляров, как на нижнем рисунке (в поле восток-юг и аналогично на поле юг-запад).



Через эти точки нарисовать часовые линии, основные и серединные на обеих полях: восток-юг, юг-запад.

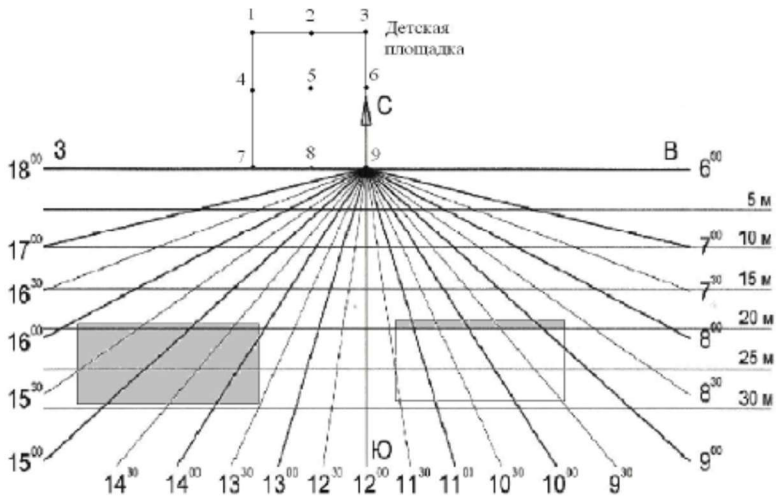


После нанесения часовых линий график сориентировать, т.е. развернуть так, чтоб север был ориентирован вверх. После этого получить инсоляционный график для заданной широты, который необходимо перенести на кальку или прозрачную пленку.



По вертикали отложить шкалу высоты, согласно масштабу карты, которая используется для решения задачи (Яндекс-карта). На Яндекс-картах масштаб указывается в правом нижнем углу, и он меняется в зависимости от степени увеличения или уменьшения. После установления рабочего размера карты, линейкой или циркулем снять размер и нанести на инсоляционный график, как высота с соответствующими делениями.

Далее, согласно [16], центральную точку (Север) приложить к площадке, ориентируя север к северу на карте-схеме города и выбранной территории. По шкале высоты оценить формирование или не формирование теневых полей от ближайших зданий в зависимости от их высоты. Высота современного 9-и этажного дома равна примерно 28 метров (соответствует высоте стандартной пожарной лестницы). Продолжительность инсоляции можно определить по часовым линиям, которые оказались в зоне ниже 28 метров. На нижнем рисунке точка 9 находится в тени с 8.40 до 11.25 и с 13.30 до 16.00 часов [16].



Вклад солнечной радиации в тепловой баланс ограждающих конструкций проявляется, прежде всего, в виде прямой, рассеянной (в совокупности суммарной радиацией) и отраженной от подстилающей поверхности приходящей солнечной радиации на вертикальную поверхность стен, а также зависит от поглощательной и отражательной способностей стен. Все эти факторы оказывают тепловое воздействие на поверхность стены и на внутренние помещения здания.

Поступающая на вертикальную стену, суммарная радиация определяется по формуле (2.6) [12]:

$$Q_B = S_B + \frac{D_{\Gamma}}{2} + \frac{R_{\Gamma}}{2}, \quad (2.6)$$

где S_B – прямая солнечная радиация, приходящая к вертикальной поверхности, D_{Γ} и R_{Γ} – рассеянная и отраженная радиация, поступающие на горизонтальную поверхность.

S_B рассчитывается по формуле (2.7):

$$S_B = S \cdot \cos h_o \cdot \cos(A_o - A), \quad (2.7)$$

где A_o – азимут Солнца (считается положительным при отсчете от точки юга в направлении движения часовой стрелки), A – азимут нормали к стене, S – прямая солнечная радиация на перпендикулярную к лучам Солнца площадку, h_o – высота Солнца.

Расчет прямой радиации по формуле будет несколько трудоемкой задачей, поэтому следует воспользоваться коэффициентом пересчета K_s , разработанным в ГГО им.А.И.Воейкова (таблица 2.3).

Отраженную к стене от земной поверхности радиацию (R_{Γ}) определяем по формуле (2.8)

$$R_{\Gamma} = \frac{Q_{\Gamma} A_k}{100}, \quad (2.8)$$

где Q_G – суммарная радиация, приходящая на горизонтальную поверхность, A_k – альbedo участков, примыкающих к зданию (в процентах).

Таблица 2.3. Коэффициенты K_S для пересчета среднемесячных сумм прямой радиации с горизонтальной поверхности S' на вертикальную [12]

Градусы с. ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Южная ориентация</i>													
40	2,15	1,50	0,92	0,51	0,28	0,19	0,23	0,39	0,71	1,20	1,85	2,40	
50	3,50	2,20	1,30	0,73	0,44	0,34	0,38	0,60	1,00	1,75	2,90	4,10	
60	7,20	3,50	1,85	1,03	0,64	0,50	0,56	0,83	1,44	2,60	5,50		
70			3,20	1,44	0,86	0,64	0,72	1,10	2,20	5,35			
<i>Восточная и западная ориентации</i>													
40	В	0,55	0,50	0,46	0,44	0,42	0,40	0,44	0,41	0,46	0,50	0,48	0,54
	З	0,56	0,54	0,48	0,40	0,35	0,34	0,40	0,42	0,43	0,42	0,48	0,54
50	В	0,68	0,65	0,61	0,53	0,48	0,46	0,47	0,49	0,56	0,62	0,66	0,86
	З	0,75	0,69	0,61	0,47	0,42	0,40	0,43	0,44	0,50	0,58	0,66	0,86
<i>Северная ориентация</i>													
40				0,01	0,04	0,08	0,06	0,02					
50				0,02	0,06	0,10	0,08	0,03					
60				0,02	0,09	0,14	0,12	0,06					
70				0,07	0,24	0,40	0,35	0,15					

Значение альbedo в городских условиях зависит от множества факторов, поэтому следует принимать во внимание комплекс участков дворов (газоны, асфальтовые и бетонные дорожки, песок, кустарник, деревья и пр.) Среднее альbedo при таком сочетании участков можно принимать равным 20%. Если поверхность примыкающей территории однородна в виде асфальта или газона, то альbedo можно принимать за 10-12% или 18-22%, соответственно. В период со снежным покровом можно использовать альbedo метеорологической площадки, но с учетом поправки на влияние городских условий (в городе альbedo ниже). Разница в альbedo в зимние и переходные месяцы составляет 15-20%.

После расчета прихода суммарной радиации на вертикальную поверхность стены можно определить величину поглощенной радиации (B_B) по формуле –

$$B_B = Q_B (1 - A_c), \quad (2.9)$$

где A_c – альbedo стены (таблица 2.4).

Задание 2.4. Используя среднемесячные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность, рассеянной и суммарной радиации при средней облачности, рассчитать приход суммарной радиации на вертикальные стены южной, северной, западной и восточной ориентации в течение года. Определить величину поглощенной радиации на каждую из стен и нарисовать графики годового хода.

Таблица 2.4. Альbedo строительных материалов [37]

Наименование материалов и тип	Свойства поверхности	Цвет поверхности	Альbedo, %
Кирпич	Гладкая	Белый	70
		Розовый	50
		Темно-розовый	30
	Щероховатая	Коричневый	10
	Силикатный	Светлый	45-60
Бетонная панель	Щероховатый	Белый	70
Рубероид		Темно-коричневый	12
Оцинкованная сталь		Светло-серый	35
Черепица		Светло-красный	40

Рекомендации. Для выполнения задания следует воспользоваться табличной формой (табл.2.5). В соответствующие строки из Научно-прикладного справочника по климату вписать месячные суммы S' , D и Q , а также коэффициент пересчета K_S (табл.2.3.) для заданной широты местности и на соответствующие стены южной, северной, восточной и западной ориентации. Для промежуточных значений использовать линейную интерполяцию. Далее, согласно приведённым формулам рассчитать месячную сумму суммарной радиации на вертикальную поверхность и поглощенную радиацию (4 стены). Следовательно, в результате должны быть получены 4 расчетные таблицы. В завершении необходимо нарисовать график годового хода с 4 кривыми поглощенной радиации. Сделать выводы.

Таблица 2.5. Форма для решения задания 2.4

Показатели	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
S'												
K_S												
S_B												
D												
$D/2$												
Q_{Γ}												
Ak												
R_B												
Q_B												
A_c												
B_B												

2.3. Учет метеорологической нагрузки в строительстве

Строительные объекты непрерывно находятся под различными видами нагрузки. Это могут быть динамические или статические нагрузки. В зависимости от продолжительности действия нагрузок следует различать:

- 1) постоянные P_d ,
- 2) временные:
 - а) длительные P_i ,
 - б) кратковременные P_l ,
- 3) особые P_s .

Строительные объекты, в виду того, что они выступают над уровнем поверхности земли, испытывают ветровую и снеговую нагрузку.

Ветровая нагрузка зависит от:

- скорости ветрового потока;
- плотности воздушной струи – при повышенной влажности, удельный вес воздуха становится больше, соответственно, возрастает величина переносимой энергии;
- формы стационарного объекта.

В зависимости от формы объекта:

- на вертикальную стену действует так называемое лобовое усилие, стремящееся сдвинуть объект с места;
- на крышу, кроме горизонтальных усилий (вдавливающих), действуют и вертикальные силы, образующиеся от разделения воздушного потока при ударе о стену. Вектор воздушного потока стремится поднять крышу, оторвать её от стен;
- совокупность всех этих вихревых потоков создают ветровую нагрузку не только на крупные элементы здания, но распространяет свои влияния на все элементы строительного сооружения (двери, окна, кровлю, водостоки, антенну, дымоход).

Если рассматривать ветровую нагрузку на крышу, то ветровая нагрузка проявляется с разной направленностью. При фронтальном направлении ветра происходит столкновение с фасадной частью здания и крышей. У вертикальной поверхности поток создаёт вихревые разнонаправленные векторы – происходит деление на нижнюю, боковую и вертикальную составляющие:

- нижнее направление – самое безопасное для здания, так как все усилия направлены в сторону фундамента, то есть одной из самой прочной и массивной части дома;
- боковые составляющие воздействуют на фасадные части здания, окна, двери;
- вертикальный поток направлен прямо на свес крыши и создаёт подъёмное усилие, стремящееся приподнять кровлю, сдвинуть её с места.

Воздушный поток, направленный на скат крыши, образует (рис.2.7):

- касательное движение, скользящее вдоль кровли, огибающее конёк и уходящее прочь – эта сила стремится сдвинуть крышу с места;
- перпендикулярное усилие – нормаль, направленная внутрь кровли; это усилие создаёт давление, которое может вдавить элементы крыши внутрь конструкции;
- с подветренной стороны ската крыши создаётся обратная сила, способствующая созданию подъёмной силы – как у крыла самолёта.

Расчёт ветровой нагрузки на крышу W_p ($кгс/м^2$), в зависимости от её высоты над уровнем земли, определяется по формуле:

$$W_p = 0,7 \cdot W \cdot k \cdot C, \quad (2.10)$$

где W – нормативная величина усилия, создаваемого напором воздуха; определяется по картам в приложении к СП 20.133330.2011; k – коэффициент, показывающий зависимость давления от высоты над срезом верхнего уровня земли (таблица 2.6); C – аэродинамический коэффициент, учитывающий направление набегания воздушного потока на скат крыши (таблица 2.7) и на фронтон (таблица 2.8), 0,7 - понижающий коэффициент надёжности из СНиП.

Коэффициент k зависит от характера местности. Выделяют три типа подстилающей поверхности:

- 1) тип «А» - открытые ровные участки: побережья морей, озёр и рек, степи, пустыни, тундровые районы, лесостепи;
- 2) тип «В» - местность, покрытая препятствиями высотой до 10 метров: городская зона, леса и пр.;
- 3) тип «С» - городские районы с застройкой высотой более 25 м.

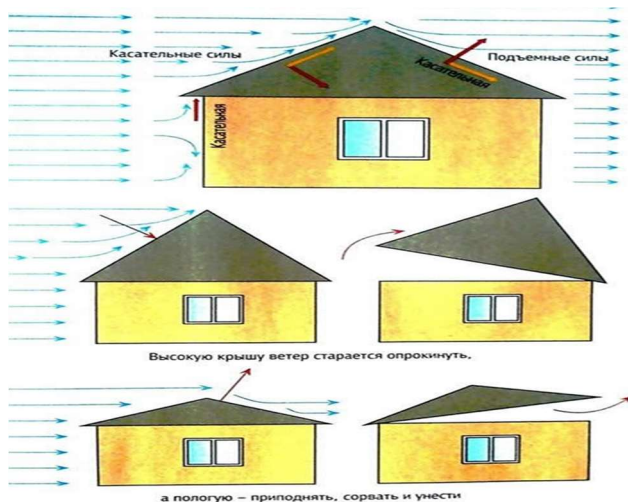


Рис.2.7. Направления нагрузки на здание

Таблица 2.6. Коэффициент k для типов местности

Высота z_0 , м	Коэффициент k для типов местности		
	А	В	С
< 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25

Таблица 2.7. Аэродинамический коэффициент давления ветра, направленного на скат крыши

Уклон β	F	G	H	I	J
0°	-1,8	-1,3	-0,7	-0,5	-0,5
15°	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
	0,2	0,2	0,2		
30°	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	0,7	0,7	0,4		
45°	0,7	0,7	0,6	-0,2	-0,3
60°	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

Таблица 2.8. Аэродинамический коэффициент давления ветра, направленного на фронтон дома

Уклон β	F	G	H	I
0°	-1,8	-1,3	-0,7	-0,5
15°	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
30°	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
45°	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
60°	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
75°	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5

Положительные значения аэродинамического коэффициента означают, что ветер будет давить на поверхность кровли. Отрицательные значения свидетельствуют о том, что поток будет создавать разрежение у поверхности кровли и зону пониженного давления, т.е. формируется «отсос» воздушной подушки.

В таблицах 2.7 и 2.8. аэродинамические коэффициенты представлены для соответствующих участков двухскатной и плоской кровли) (рис.2.8) [<https://bta.ru/vetrovaya-nagruzka-na-kryshu/>].

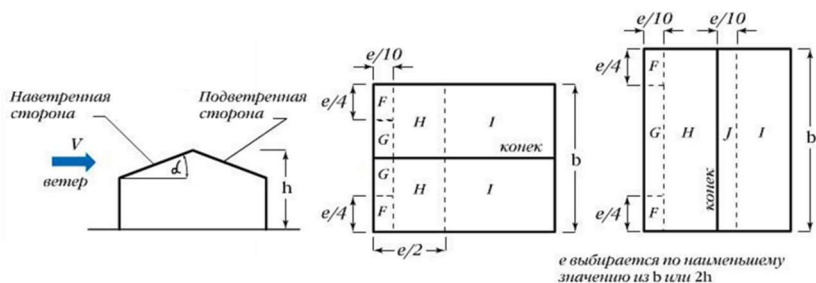


Рис.2.8. Аэродинамические коэффициенты на двухскатной крыше

Максимальные значения коэффициентов в зонах F и G свидетельствуют о том, что эти участки подвергаются наибольшей ветровой нагрузке и там возникают угрозы отрыва кровельного материала.

Задание 2.5. Для выбранного населенного пункта на Европейской части РФ, по данным среднемесячных значений скорости ветра построить график годового хода скорости ветра. По повторяемости направлений ветра за январь, март, июль и октябрь построить розу ветров и определить преобладающие направления ветра. Сделать выводы.

Рекомендации. Графики (годовой ход скорости ветра и роза ветров) построить в редакторе EXCEL либо в коде Python.

Задание 2.6. Рассчитать ветровое усилие для здания и общее усилие на кровлю, ориентированного с юга на север, расположенного у восточного берега озера. Кровля 2-х скатной крыши расположена на высоте 15 метров, с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ с общей поверхностью $S = 60 \text{ м}^2$.

Рекомендации. Определить сторону здания (фронтон или скат), которая получает (согласно розы ветров из задания 2.5) наибольший ветровой поток. Для формулы $W_p = 0,7 \cdot W \cdot k \cdot C$ определить соответствующие коэффициенты и нормативное значение W , согласно карты ветровых нагрузок (рис.2.9). Если получено значение ветрового усилия со знаком « - », то это показывает, что имеется усилие, стремящееся оторвать кровлю от всего здания. Если со знаком « + », то ветер давит на крышу.

Для расчета общего усилия (P , кгс) на кровлю значение ветрового усилия умножить на общую площадь кровли.

Снеговая нагрузка на различные покрытия определяется весом снежного покрова на единицу площади. В СНиП норматив P_0 кгс/м² по снеговой нагрузке на горизонтальную поверхность определяется по формуле (2.11):

$$P_o = \rho H, \quad (2.11)$$

где ρ - плотность снега для определенной территории (кг/м³); H - средняя из ежегодных максимальных высот снежного покрова на защищенных участках.



Рис.2.9. Карта ветровой нагрузки для Европейской части РФ и Западной Сибири

Пересчет веса снежного покрова с горизонтальной поверхности на покрытия, имеющие различный уклон и форму, осуществляется по формуле (2.12):

$$P_n = c P_o, \quad (2.12)$$

где P_n - нормативная снеговая нагрузка; c - коэффициент, зависящий от технических параметров покрытия.

При расчете конструкции покрытия за расчетную нагрузку P_p принимается $P_p = 1,4 P_n$, т. е. расчетная нагрузка на 40% превосходит нормативную. Эта поправка оправдана тем, что норматив P_o определен как среднее, из максимальных весов снега за каждый год. Можно воспользоваться справочными данными по значению нормативной нагрузки, тогда расчетная снеговая нагрузка, как давление на квадратный метр определяется по формуле (2.13)

$$P_p = \mu \cdot P_n, \quad (2.13)$$

где μ – поправочный коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на разных углах наклона кровли. От 0° до 25° значение μ принимается равным 1, от 25° до 60° - 0,7.

При углах наклона кровли свыше 60° снеговая нагрузка не учитывается, хотя в реальности бывают скопления мокрого снега и на более крутых поверхностях. Опыт эксплуатации зданий показал, что конструкции покрытий, рассчитанные по действующим нормам, очень редко выходят из строя.

Задание 2.7. Для ранее выбранного пункта и дома (Задание 2.6, с соответствующими характеристиками) рассчитать снеговую нагрузку.

Рекомендации. По карте снеговой нагрузки (рис.2.10) определить номер района расположения здания. Для искомого района по таблице 2.9 выписать нормативную величину снеговой нагрузки (P_n). В формулу, $P_p = \mu \cdot P_n$ подставить значение P_n и величину поправочного коэффициента на угол наклона кровли. Рассчитанную величину давления снега на m^2 умножить на общую площадь кровли. В итоге можно получить суммарный расчетный вес снега на кровле.



Рис.2.10. Нормативная нагрузка снега

Таблица 2.9. Величина нормативной нагрузки снега на горизонтальную поверхность

Снеговой район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
P_n (кгс/м ²)	80	120	180	240	320	400	480	560

3. Климатическое обслуживание энергетики

Энергетика – это одна из важнейших сфер деятельности в рамках мировой и национальной экономики, которая обеспечивает любую страну энергетическими ресурсами и определяет структуру национального хозяйства. Современная энергетика – система взаимосвязанных между собой отраслей (добывающие или энергодобывающие отрасли: нефтяная, газовая и др.; транспортная отрасль: трубопроводная и линии электропередач (ЛЭП) и энергопроизводящие отрасли – электроэнергетика и теплоэнергетика), что в совокупности формирует топливно-энергетический комплекс (ТЭК) (рис.3.1).

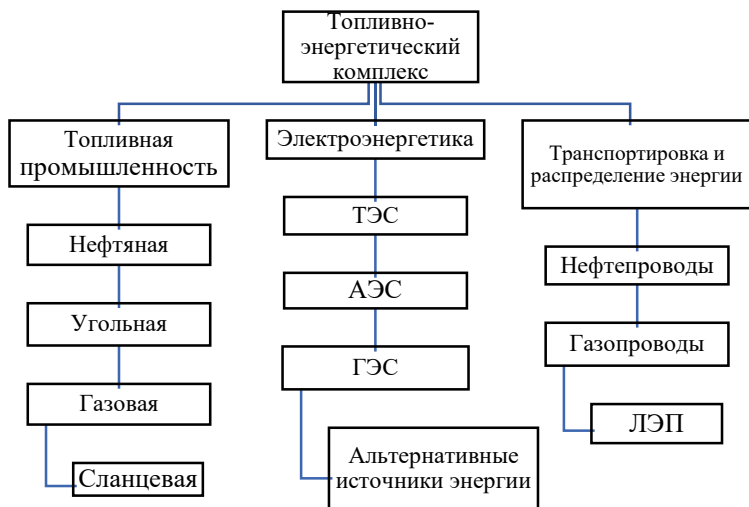


Рис.3.1. Структура ТЭК

3.1. Климатические нагрузки

Функционирование выше представленных направлений деятельности в рамках ТЭК в меньшей или большей степени зависят от климата. Для каждого из них разработаны показатели, которые отражают чувствительность объектов энергетики к изменению климата.

Климатическая информация постоянно учитывается при проектировании и строительстве объектов ТЭК (строительная климатология). Это относится к системам электро- и теплоснабжения, нефте- и газоснабжения, к предприятиям угольной промышленности и другим объектам энергетики.

Строительство энергоисточников требует прежде всего знания таких нормативных климатических сведений, на основании учета которых обеспечивается надежность и долговечность сооружения. Вырабатываемый вид энергии и энергоресурсов отражает начальную производственную функцию энергетического объекта. Эффективность передачи получаемой электрической энергии по высоковольтным линиям (ЛЭП с напряжением от 35 до 750 кВ) зависит от климатических условий региона и от такого метеорологического и климатического показателя, как гололедно-ветровая нагрузка.

Возникает задача расположения опор ЛЭП, которая является очень сложной и, кроме гололедно-ветровой нагрузки требует учета неблагоприятных воздействий метеорологических и климатических параметров и их сочетаний.

Гололедные отложения на предметах и сооружениях создают дополнительные нагрузки. К гололедным отложениям относятся [12, 13, 37]:

- *гололед*;

- *зернистая и кристаллическая изморозь;*
- *налипание мокрого снега;*
- *сложные гололедеобразования, состоящие из нескольких видов.*

Гололедные отложения на различных предметах образуются в процессе осаждения и замерзания переохлажденных капель воды:

- ✓ во время тумана,
- ✓ мороси,
- ✓ дождя, когда температура воздуха ниже 0°C , при сублимации водяного пара и замерзании оседающего мокрого снега.

В результате осаждения и замерзания переохлажденных капель воды образуется либо гололед, либо зернистая изморозь.

Вид отложения зависит от размеров капель и скорости их замерзания:

- крупные капли, которые чаще всего наблюдаются при температуре воздуха, близкой к 0°C , успевают растечься и образовать пленку воды, которая замерзает медленно. *Замерзшая пленка образует гололед.* Его образование чаще всего происходит при температуре воздуха в диапазоне *от 0 до -3°C ;*
- замерзание капель без растекания, которое характерно для мелких капель и более низких температур (*от -3 до -8°C*), приводит к образованию *зернистой изморози*, так как между льдинками остаются пузырьки воздуха. Поверхность этого отложения не гладкая, как при гололеде, а бугристая, с отдельными выступами;
- *кристаллическая изморозь* образуется в результате сублимации водяного пара или замерзания очень мелких капель при температуре воздуха *от -10 до -20°C .*

При этом плотность гололеда будет иметь следующие характеристики:

- ✓ *гололед является самым плотным* видом отложений льда. Чаще всего его плотность равна $0,6 - 0,9 \text{ г/см}^3$;
- ✓ плотность *зернистой изморози* составляет $0,1 - 0,6 \text{ г/см}^3$;
- ✓ *кристаллической* – $0,01 - 0,08 \text{ г/см}^3$;
- ✓ гололедные отложения, образующиеся в результате *налипания мокрого снега*, могут быть различной плотности, от $0,10$ до $0,70 \text{ г/см}^3$.

Наблюдения за размерами гололедно-изморозевых отложений осуществляются на метеоплощадке с помощью гололедного станка, приемной частью которого являются провода длиной 90 см и диаметром от 4 до 6 мм. Станок устанавливается в северной части площадки. Провода укрепляются на трех стойках: два провода в меридиональном направлении и два в широтном. Высота их крепления 1,9 и 2,2 м. Один из пары проводов укрепляется неподвижно (постоянный), другой сменный. Обычно измеряются большой и малый диаметр отложений и его вес. Данные для расчета этих нагрузок помещены в таблицах ТМ-5 и в «Метеорологических ежемесячниках» в таблице «Данные наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями».

Обычно расчет гололедной нагрузки и толщины стенки гололедного отложения начинается для уровня гололедного станка, а затем производится пересчет на уровень 10 м и диаметр провода 10 мм.

Толщина стенки гололеда (в см) на уровне гололедного станка, приведённая к плотности 0,9 г/см³ (b_n), может быть определена по формуле (3.1)

$$b_n = \sqrt{\frac{P}{283} + \frac{d^2}{4}} - \frac{d}{2}, \quad (3.1)$$

где P – вес гололедного отложения на одном погонном метре провода гололедного станка в $г\cdot\rho$, d – диаметр провода в $см$ (на гололёдном станке провода могут быть толщиной от 4 до 6 мм).

Если же вес отложения отсутствует, а есть большой и малый диаметры отложения (a и c), то b_n определяют по соотношению (3.2).

$$b_n = \frac{1}{2} \left(\sqrt{(ac - d^2) \frac{\gamma'}{\gamma} + d^2} - d \right), \quad (3.2)$$

где $\gamma = 0,9$ г/см³ – максимально возможная плотность отложения, γ' – фактическая плотность отложения. Плотность гололеда $\gamma=0,75$ г/см³, для смешанных отложений и замерзшего мокрого снега $\gamma=0,2$ г/см³, для зернистой изморози $\gamma=0,1$ г/см³, для кристаллической $\gamma = 0,05$ г/см³.

На практике требуется знать толщину стенки гололеда для линий ЛЭП подвешенных на высоту 10 м. Для перевода с гололедного станка, полученное значение следует умножить на 1,5 ($K_{bdh} = 1,5$ в условиях штиля). Если гололедный процесс сопровождается ветром, то следует использовать коэффициенты, приведенные в таблице 3.1. Зная, начало отложения и вес отложения на данном этапе, а также измерив данные в конце гололёдного процесса можно определить интенсивность формирования стенки гололёда.

Кроме толщины стенки гололёда важно знать вес отложения, который, как уже говорилось, на некоторых станциях не измеряется. Измеряют большой и малый диаметр отложений на гололедном станке. Тогда вес отложений определяется по формуле $P = \gamma \cdot 78 (a \cdot c - d^2)$ в г/см погонный,

где a и c – большой и малый диаметры отложения, соответственно, включая диаметр провода ($d=0,5$ см), γ – плотность отложения, г/см³.

Таблица 3.1. Коэффициент K_{bdh} для пересчета толщины стенки гололёда на 10 м для провода толщиной 10 мм

Толщина стенки гололеда, мм	Скорость ветра, м/сек				
	0,1-4,0	4,1-8,0	8,1-12,0	12,1- 16,0	больше 16
менее 5	1,85	2,00	2,14	2,32	2,48
10	1,65	1,77	1,90	2,07	2,18
15	1,57	1,68	1.80	1,90	2,00
более 20	1,25	1.30	1.37	1,45	1,50

Иногда имеются сведения только о большом диаметре a , тогда малый диаметр c определяется как:

- $c = 0,6 \cdot a$, при гололеде;
- $c = 0,75 \cdot a$, при остальных видах отложений.

Кроме указанных значений важно знать и плотность отложений. Если же P измерено в граммах, a , c , d – в сантиметрах при длине провода 100 см плотность фактического отложения (в $г/см^3$) определяется по формуле:
 $\gamma = P/78 (a \cdot c - d^2)$.

На практике необходимо определить вес отложений на линиях ЛЭП. Поэтому, вес отложения на гололедном станке (P_c) пересчитывают для провода диаметром 10 мм на высоте подвеса 10 м путем умножения значения веса отложения на коэффициент $K_{Pdh} = 3,4$ (в условиях штиля). Коэффициенты (K_{Pdh}) пересчета при ветре приводятся в табл.3.2.

Таблица 3.2. Значения коэффициентов K_{Pdh}

Вес гололедного отложения (P_c), $г/р$	Скорость ветра, м/сек				
	1 – 4	5 – 8	9 - 12	13 - 16	более 16
менее 100	3,7	4,2	4,6	5,1	5,6
101 – 150	3,3	3,7	4,1	4,6	5,0
151 – 300	2,9	3,2	3,6	4,0	4,4
301 – 450	2,5	2,8	3,2	3,5	3,7
451 – 600	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
более 600	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4

На гололедные отложения ЛЭП существенное влияние также оказывают направление и скорость ветра. На направление ветра вводится поправка (W):

- ✓ направления СВ, ЮВ, СЗ, ЮЗ – поправка 1,82;
- ✓ направления ВСВ, ССВ, ВЮВ, ЮЮВ, ЮЮЗ, ЗЮЗ, ЗСЗ, ССЗ – поправка 1,33;
- ✓ поправка не применяется при штиле.

Тогда максимальная масса отложения на проводе диаметром 10 мм и высотой подвеса 10 м (P_{max}) за каждый зимний сезон рассчитывается по формуле:

$$P_{max} = P_c \cdot K_{Pdh} \cdot W$$

Ветровая нагрузка при гололеде возникает в результате ветрового давления на обледенелый провод. Она зависит от скорости ветра при гололеде и размеров отложения. Расчетная формула для определения ветровой нагрузки на погонный метр обледеневшего провода имеет вид (3.3):

$$Q = C_x \cdot q \cdot S_n, \quad (3.3)$$

где C_x – аэродинамический коэффициент, равный 1,2; q – скоростной напор ветра (определяется по формуле: $q = V^2/16$); S_n – площадь осевого сечения одного метра обледеневшего провода, равная произведению среднего геометрического значения большого и малого диаметров отложения на длину провода

(мм²): $S_n = \sqrt{a \cdot c \cdot l}$ где a и c – диаметры отложения (вместе с проводом); l – длина провода (один метр).

В ГГО им. А.И.Воейкова ветровую нагрузку при гололедных отложениях предлагают рассчитывать с помощью номограммы, построенной по формуле 3.4, которой можно воспользоваться для единичных расчетов:

$$Q = 0,15v^{2\sqrt{ac}}, \quad (3.4)$$

При расчетах ветровой нагрузки на провода воздушных линий (диаметр провода 10 мм и высота подвеса 10 м) необходимо размеры площади отложений на гололедном станке пересчитать на величину отложений на проводе воздушных линий. Пересчет осуществляется с помощью коэффициентов K_{Dah} , которые представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Значения коэффициентов K_{Dah}

$a \cdot c, \text{ мм}^2$	Скорость ветра, м/сек		
	1,0 – 8,0	8,1 – 16	> 16
< 50	2,5	2,65	2,80
51-100	2,15	2,45	2,65
101-200	2,00	2,30	2,50
201-800	1,85	2,15	2,35
>800	1,70	2,05	2,25

В завершении анализа гололедно-ветровых нагрузок следует определить результирующую, или суммарную нагрузку R на провода воздушных линий, которая равна геометрической сумме двух составляющих – вертикальной нагрузки, определяемой весом гололедных отложений и весом провода, и горизонтальной нагрузки, возникающей под действием ветра (3.5):

$$R = \sqrt{(P + p)^2 + Q^2}, \text{ [г/м]} \quad (3.5)$$

где P – гололедная нагрузка на провода воздушных линий, p – вес 1 погонного метра провода (200 г), Q – ветровая нагрузка.

Задание 3.1. По приведенным в таблице 3.4. данным по гололедному станку (толщина провода на гололедном станке 6 мм, длина 90 см):

- рассчитать толщину стенки гололёда на гололёдном станке, и привести полученное значение к высоте подвеса 10 м для ЛЭП толщиной 10 мм;
- по весу отложения на гололёдном станке определить вес отложения на ЛЭП;
- определить ветровую нагрузку на линию ЛЭП при значениях диаметра отложения, согласно выбранного варианта;
- рассчитать суммарную гололедно-ветровую нагрузку R для провода

воздушных линий диаметром провода 10 мм и высотой подвеса 10 м.

Для выбранной станции Мурманской области (табл.3.5.) нарисовать сезонный ход среднего числа дней с обледенением всех типов и оценить ветровой и температурный режим для максимального месяца по справочным данным из интернета.

Таблица 3.4. Данные по гололедным и другим отложениям (варианты)

Варианты	Вид отложения	Диаметр (а), мм	Вес, г	Направление ветра	Скорость ветра
1	Гололед	7	56	ЮВ	5
2	Отложение мокрого снега	12	24	З	1
3	Отложение мокрого снега	13	32	ЮЗ	4
4	Отложение мокрого снега	10	32	ЮВ	3
5	Кристаллическая изморозь	15	8	Ю	1
6	Кристаллическая изморозь	16	16	ЮЗ	2
7	Изморозь	14	10	ЮЗ	1
8	Отложение мокрого снега	17	16	0	0
9	Кристаллическая изморозь	18	8	С	2

Таблица 3.5. Данные по Мурманской области, число дней [21]

Метеостанции	Месяцы								
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Мурманск	0,1	3	9	10	11	10	5	1	0,03
Мончегорск	0,07	3	10	11	11	8	5	1	0,2
Ковдор	0,04	3	8	11	11	6	2	1	0,3
Кандалакша	-	0,7	3	7	6	5	3	0,8	0,03
Умба	0,03	2	10	16	18	15	10	3	0,2
Терско-Орловский	0,3	1	2	3	4	3	2	0,8	0,4
Пулозеро	0,3	3	10	10	0	8	4	1	0,2
Печенга-Никель	0,08	4	10	13	14	11	5	1	0,04

Рекомендации. При проведении расчетов следить за размерностью физических величин! Для выбранного варианта определить малый диаметр отложения. Согласно плотности отложения, рассчитать толщину стенки гололёда на гололёдном станке. Привести к линии ЛЭП.

По значению веса отложения на гололёдном станке определить вес отложения

на высоте 10 м для провода толщиной 10 мм при соответствующих скорости и направления ветра (по формуле для P_{max}). По формуле 3.3 или по ф.3.4 рассчитать ветровую нагрузку на станке и перевести ее к высоте ЛЭП.

Расчет суммарного значения гололедного отложения провести согласно формулы 3.5.

График по Мурманской области нарисовать в EXCEL или в коде Python.

3.2. Оценка потенциала альтернативных источников энергии

Ресурсы возобновляемой энергии огромны и доступны в каждой стране. Не оказывая значительного негативного влияния на окружающую среду и сравнительно быстро окупаясь, источники такой энергии все шире используются в развитых странах мира. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) не являются альтернативой существующей энергетике, они – существенная часть энергетике ближайшего будущего.

Мировой объем энергии, производимой с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в настоящее время уже превысил 20% от общего объема энергопотребления и, по прогнозам экспертов, будет только расти. В России этот показатель, по данным Минэнерго, составляет примерно 1%. Альтернативная энергетика может дать толчок развитию не только Дальнего Востока, но и регионов Крайнего Севера и Арктики. В настоящее время правительством созданы механизмы стимулирования ВИЭ.

К ВИЭ относятся: солнечная энергия, ветровая энергия, энергия водных потоков, океана, приливов, биомассы, геотермальной теплоты и т.д. Наиболее перспективными источниками энергии являются энергия ветра и энергия приходящей солнечной радиации. Применительно к ВИЭ используют такое понятие, как потенциал альтернативных источников энергии.

Для оценки *ветроэнергетического потенциала* анализируемых территорий необходимо использовать климатическую информацию о режиме ветра. Климатическая информация о ветре используется при решении следующих основных задач:

- конструировании ветроэнергетических установок, ВЭУ;
- расчете потенциальных, технических и реальных ресурсов ветровой энергии и оценке их вклада в общий энергетический баланс;
- выборе типа ВЭУ с учетом его производительности;
- планировании оптимального режима работы ВЭУ.

Основными климатическими параметрами для решения этих задач служат:

- квантили ветрового напора;
- вертикальный профиль максимальной скорости ветра и коэффициента порывистости;
- интенсивность турбулентности;
- средний куб скорости ветра (месячной и годовой) и плотность воздуха;
- коэффициент вариации скорости ветра;

- повторяемость и средняя непрерывная продолжительность энергозатиший, рабочих и «буревых» скоростей.

При современном уровне развития ВЭУ условия их экономически оправданной эксплуатации в зависимости от среднегодовой скорости ветра можно приблизительно оценить следующим образом [27]: при скорости ветра меньше 3 м/с – условия бесперспективные для любых ВЭУ; при 3 – 3,5 м/с мало перспективные; при 3,5 – 4,0 м/с, перспективные для ВЭУ малой мощности; при 4,0 – 5,5 м/с, перспективные для ВЭУ малой и средней мощности; при ветрах больше 5,0 м/с – перспективные для всех ВЭУ.

Одним из важнейших показателей ветроэнергетических ресурсов является удельная мощность ветрового потока. Она может быть рассчитана по приближенной формуле (3.6) [15]:

$$N = 1,16(V_{cp})^3, \quad (3.6)$$

где N – удельная мощность ветрового потока, рассчитанная по средним значениям скорости ветра, Вт/м²; V_{cp} – средняя скорость ветра, м/с.

Если отмечается удельная мощность ниже 50 Вт/м², то такие территории бесперспективны для развития ветроэнергетики любой мощности.

Гелиоэнергетический потенциал. Солнечная энергия может использоваться для получения как тепловой, так и электрической энергии. Практическое использование солнечной энергии не связано с загрязнением окружающей среды. Общие климатические характеристики, необходимые для оценки природного гелиопотенциала:

- ✓ продолжительность солнечного сияния по месяцам и за год;
- ✓ средняя продолжительность солнечного сияния за день с Солнцем;
- ✓ число дней без Солнца;
- ✓ отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной;
- ✓ суммы прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность;
- ✓ максимальный суточный приход солнечной радиации.

Специализированные характеристики для решения задач гелиоэнергетики (оценки солнечных ресурсов, принципиально доступных для использования, и технически реализуемых солнечных энергетических ресурсов):

- 1) Приход солнечной радиации на наклонные поверхности;
- 2) Технически реализуемые солнечные энергетические ресурсы:
 - ✓ выработка тепловой энергии;
 - ✓ выработка электрической энергии.

Для солнечной энергетики важным показателем является продолжительность солнечного сияния. Продолжительность солнечного сияния более 250 ч в месяц обеспечивает оптимальную эффективность работы любых гелиоустановок. Обеспеченность 80–90% от этой величины также считается удовлетворительной для их нормальной работы.

Приход суммарной солнечной радиации при ясном небе за месяц (год) определяет возможные суммы суммарной радиации. Основным фактором, влияющим на приход суммарной радиации при ясном небе, является высота солнца. Поступление радиации в естественных условиях в значительной степени также зависит от облачности. Закономерности изменения месячных сумм суммарной радиации при действительных условиях облачности определяются в основном особенностями годового хода возможной суммарной радиации и облачности.

Согласно критериям Б.П. Вейнберга [27], суммарная солнечная радиация может считаться «технически приемлемой» для реализации гелиоэнергетических проектов при пороговом значении интенсивности радиации достигающего $0,60 \text{ кВт/м}^2$ (600 Вт/м^2). Для определения потенциальных гелиоэнергетических ресурсов в первую очередь следует рассчитать годовые суммы суммарной радиации. Для расчета годовых сумм можно использовать уравнение множественной регрессии (3.7),

$$\sum Q_{\text{год}} = 1,17 \cdot SS - 23,5 \cdot \varphi + 3230, \quad (3.7)$$

где $\sum Q_{\text{год}}$ годовые суммы суммарной радиации (МДж/м^2), широта местности (φ) и годовые суммы продолжительности солнечного сияния (SS , час) [27, 37]. Для районов южнее 65° с.ш., можно использовать следующую формулу (3.8)

$$\sum Q_{\text{год}} = 0,0049 \cdot SS^{1,31} + 10,5 (\sin h_n)^{2,1}, \quad (3.8)$$

где h_n – полуденная высота Солнца, градусы.

Задание 3.2. По данным из интернет ресурсов (*meteo.ru*, *rp5.ru*) выписать среднемесячные значения скорости ветра для любого пункта наблюдения (метеорологической станции) на территории РФ, нарисовать график годового хода скорости ветра и определить ветроэнергетический потенциал на высоте флюгера и на высоте 50 метров.

Рекомендации. График годового хода среднемесячных значений скорости ветра можно выполнить в EXCEL или Python, расчёты в дальнейшем удобно вести в той же среде. По среднемесячным значениям скорости ветра сделать предварительный вывод об условиях эксплуатации ВЭУ в данной местности. Далее для каждого месяца рассчитать удельную мощность ветрового потока на высоте флюгера. Для расчета удельной мощности на высоте 50 метров, вначале необходимо среднемесячные скорости ветра на высоте флюгера перевести на 50 метров (V_{h2}) по формуле (3.9):

$$V_{h2} = V_{h1} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^m, \quad (3.9)$$

где V_{h1} – скорость ветра, измеренная на высоте 10 м, м/с; V_{h2} – скорость ветра на высоте Z_2 ; m – показатель степени, равный 0,2 при нейтральной стратификации над открытой ровной поверхностью. Для прибрежных, лесных и городских районов m варьирует от 0.1 до 0.4.

4. Транспортная климатология

Осуществляя перевозки транспорт связывает в единое целое различные отрасли материального производства. Его основная функция и главная особенность состоит в том, что он продолжает производственный процесс в пределах процесса товарного обращения и товарооборота. Транспорт связан со всеми предприятиями и является поставщиком сырья, топлива, промышленной и пищевой продукции.

Вторая производственная особенность транспорта заключается в том, что стоимость полезного эффекта от перемещения переносится на перевозимый груз, увеличивая его стоимость. В этом и состоит материализация грузоперевозок, которые сами по себе не обладают материальной составляющей.

Все виды транспорта образуют единую транспортную систему независимо от формы собственности и отраслевой принадлежности. Это естественный процесс в любых производственных условиях.

Выделяют следующие виды транспорта:

- железнодорожный,
- морской,
- автомобильный,
- речной,
- воздушный,
- трубопроводный.

В наши дни авиационный и морской секторы, а также сектор наземного транспорта используют свои собственные подходы, чтобы справиться с влиянием погодных явлений со значительными воздействиями и последствиями для безопасности, эффективности и непрерывности их функционирования. Кроме того, каждый сектор использует свою собственную отдельную и индивидуальную специализированную метеорологическую информацию. Однако движение людей и товаров в нашем современном мире большей частью носит мультимодальный и чрезвычайно комплексный характер.

Чтобы смягчить влияние погоды на функционирование транспортной системы, необходимо предоставлять метеорологическое обслуживание комплексным и непрерывным образом. Именно создание комплексной структуры метеорологического обслуживания для наземного транспорта является самой сложной задачей для национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС).

4.1. Климатическое обслуживание наземного транспорта

Сеть наземного транспорта значительно менее регулируема и унифицирована, особенно на национальном и международном уровнях, чем сети авиаци-

онного и морского транспорта. Уязвимость наземного транспорта к воздействию погоды по сравнению с воздушным и морским транспортом в значительной степени очевидна исходя из статистических данных о дорожно-транспортных происшествиях.

«Комплексное метеорологическое обслуживание» – это непрерывное предоставление стандартизированного обусловленного условиями погоды обслуживания для поддержки принятия решений при осуществлении какого-либо или всех взаимосвязанных типов транспортных перевозок: предоставление комплексной информации о метеорологических условиях в аэропортах, портах и гаванях, на реках, озерах, автомобильных трассах и железных дорогах.

Комплексное обслуживание на основе наблюдений за погодой необходимо адаптировать к потребностям различных групп пользователей, включая:

- компании грузового, авиационного и автобусного транспорта, а также судоходные компании;
- пользователей транспортного сектора (например, почтовые службы, предприятия медицинского снабжения, широкую общественность);
- операторов аэропортов, авиационные предприятия и поставщиков обслуживания;
- государственные и частные организации по обслуживанию автомагистралей;
- органы по чрезвычайным ситуациям;
- начальников портов;
- железнодорожные компании.

Среди наземных видов транспорта максимальная нагрузка приходится на автомобильный транспорт (рис.4.1).

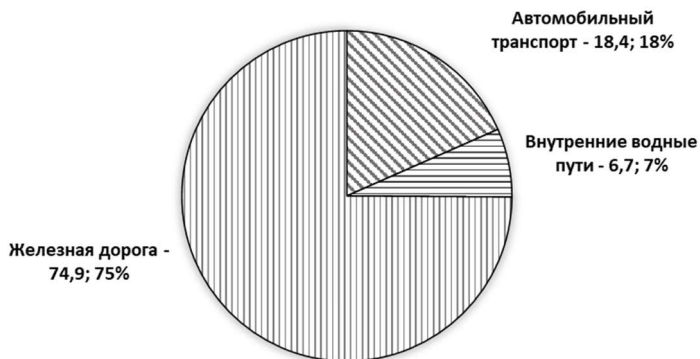


Рис. 4.1. Распределение (в %) по видам транспорта внутренних грузовых перевозок в 28 странах ЕС (2014 г.) [46]

Метеорологические факторы оказывают значительное влияние на эксплуатацию наземного в том числе и автомобильного транспорта. Одни из них могут полностью приостановить движение, другие, хотя и не прекращают его полностью, но в той или иной мере препятствуют нормальному движению. Интенсивность перевозок в единицу времени зависит от скорости движения транспорта, плотности движения и грузоподъемности отдельной транспортной единицы.

Грузоподъемность транспорта зависит от особенности его конструкции, т. е. от чисто технических факторов. Скорость и плотность движения транспорта, особенно автомобильного, прямо и косвенно зависит от метеорологических условий.

Прямое воздействие метеорологических условий на транспорт состоит в том, что за счет наличия определенного метеорологического фактора необходимо снижать скорость движения и увеличивать дистанцию между машинами.

Косвенное же влияние имеет место, например, в том случае, когда дорожное покрытие бывает повреждено из-за воздействия метеорологических факторов, а восстановительные работы приводят к уменьшению скорости и увеличению плотности движения по данной магистрали.

Общая протяжённость российских автодорог общего пользования федерального, регионального и местного значения по состоянию на 2013 год оценивалась в 1 396 000 км, в том числе 984 000 км с твёрдым покрытием. Протяжённость автомобильных дорог федерального значения составляет 50 800 км. Большинство из них расположены в умеренных широтах, а остальные находятся в полярных и в субтропических регионах.

Создание современной транспортной системы должно сопровождаться соответствующим гидрометеорологическим и, в частности, климатологическим специализированным обслуживанием. Это обслуживание актуально как на стадии проектирования, так и на этапе эксплуатации. Уже на стадии проектирования необходимо иметь климатические данные, которые характеризуют климатическую норму метеорологических параметров, от которых зависит строительство и эксплуатация автомобильных дорог, а также обеспечение безопасности движения.

По данным многих авторов не менее 20-30% случаев дорожных происшествий связаны с опасными явлениями погоды. Опыт зарубежных стран подтверждает возможность существенного уменьшения таких происшествий, повышения эффективности проектирования и эксплуатации дорог за счет улучшения и расширения климатологического обеспечения. Вовлечение климатической информации в процессы обеспечения системы ВАДС (водитель, автомобиль, дорога, среда) не только существенно увеличивает безопасность движения, но и уменьшает ущерб от ДТП, а также значительно удешевляет строительство и содержание дорог.

К серьезным нарушениям работы автомобильного транспорта приводят снежные заносы – они могут быть вызваны сильными снегопадами, метелями, а в горных районах и снежными обвалами (лавинами). Сильные снежные заносы

на автомобильных дорогах могут остановить движение вплоть до нескольких суток.

В настоящее время расчеты нормативов, характеризующих заносы снегом дорог, производятся на основании использования данных метеорологических наблюдений за величинами, определяющими интенсивность переноса снега и продолжительности снегопада. В частности, можно рассчитать средний за зиму объем переносимого снега, объем снега заданной обеспеченности, определить среднюю и максимальную интенсивность переноса снега, а также продолжительность переноса снега метелями. Рассчитывая нормативы, необходимо иметь в виду, что при метеорологических наблюдениях учитывают виды метелей [12, 13]:

- 1) общая метель – это перенос ветром ранее выпавшего снега;
- 2) верховая метель – перенос выпадаемого снега слабым ветром;
- 3) низовая метель – это перенос ветром ранее выпавшего снега с поднятием над землей в слое от 0,5 до 4 м.
- 4) бураны (пурга) – это перенос снега сильным ветром при скорости более 20 м/с.

Метелевый режим в районе автомобильной трассы определяется несколькими факторами:

- ✓ количество метелей при различных направлениях ветра;
- ✓ продолжительность метелей по румбам;
- ✓ интенсивность метелей;
- ✓ объемы снегопереноса по румбам и суммарные за год;
- ✓ объемы снегопереноса к автомобильным дорогам различного направления.

Снегоперенос – это объем снега, который переносится через заданную точку со всех направлений за зимний период.

Снегоперенос – это объем снега, приносимого метелью к одной какой-либо стороне дороги.

Интенсивность переноса снега определяется как масса его (в граммах), переносимая за единицу времени (мин) через площадку размером 200 см^2 . Очевидно, интенсивность переноса пропорциональна кинетической энергии ветра, следовательно (4.1),

$$I = \frac{K \cdot m \cdot v^2}{2}, \quad (4.1)$$

где m - масса воздуха, проходящего через площадь сечения $F = 200 \text{ см}^2$ за единицу времени, v - скорость ветра; K - коэффициент пропорциональности.

Так как $m = \rho F v$, где ρ плотность воздуха (в г/см^3), тогда $I = \frac{K \cdot \rho \cdot F \cdot v^2}{2}$.

Если принять $F = 200 \text{ см}^2$ и обозначить $K\rho(F/2) = C$, то получим $I = C v^3$, т. е. интенсивность переноса снега прямо пропорциональна кубу скорости ветра.

Коэффициент пропорциональности C определен эмпирически на основа-

нии данных метелемеров и его среднее значение равно $0,0129 \text{ г/см}^3 \cdot \text{мин}$. Он численно равен массе снега, переносимого через площадь поперечного сечения шириной 1 см и высотой 2 м, перпендикулярного ветру, в единицу времени при скорости ветра 1 м/с на уровне флюгера. Применяя эти расчеты к переносу снега, выраженному в единицах объема на единицу пути (метр) в единицу времени (час) и принимая плотность снега равной $0,17 \text{ г/см}^3$, получим $C=0,00046 \text{ м}^3/\text{пог.м.ч}$.

Количество переносимого ветром снега за время метели зависит от ее продолжительности. Если обозначить продолжительность метели через τ , то за время ее действия через единицу пути в направлении ветра будет перенесена масса снега – $q=I \cdot \tau=C \cdot v^3 \cdot \tau$

Если ветер дует под углом α к данному объекту, то – $q=I \cdot \tau \cdot \sin \alpha$.

Обозначив длину заносимого участка через l и суммируя действие всех n метелей, получим количество снега, переносимого за зиму (4.2)

$$Q = l \sum_1^n q_1 = l \sum C v_i^3 \tau_i \sin, \quad (4.2)$$

Суммарный перенос снега за зиму, рассчитанный со всеми скоростями ветра и разделенный на число случаев, дает среднюю интенсивность переноса снега за данную зиму, т. е. (4.3)

$$I_{\text{ср.}} = \frac{\sum n_v C v^3}{\sum n_v}, \quad (4.3)$$

Аналогичным образом выполняются расчеты по каждому румбу, а также для каждого вида метели отдельно.

Задание 4.1. Для выбранной метеорологической станции по климатическим данным температуры и влажности воздуха, количеству осадков, направления и скорости ветра построить дорожно-климатический график. Провести анализ распределения метеорологических характеристик в течение года.

Рекомендации. График можно построить от руки, с использованием графического редактора EXCEL или кода Python. Пример дорожно-климатического графика приведен на рисунке 4.2. В анализе указать наступление максимальных и минимальных значений в годовом ходе, определить периоды с жидкими, смешанными и твердыми осадками.

Для определения фазы осадков использовать стандартный подход: $T > +2^\circ\text{C}$ → жидкие; $-2^\circ\text{C} \leq T \leq +2^\circ\text{C}$ → смешанные; $T < -2^\circ\text{C}$ → твердые.

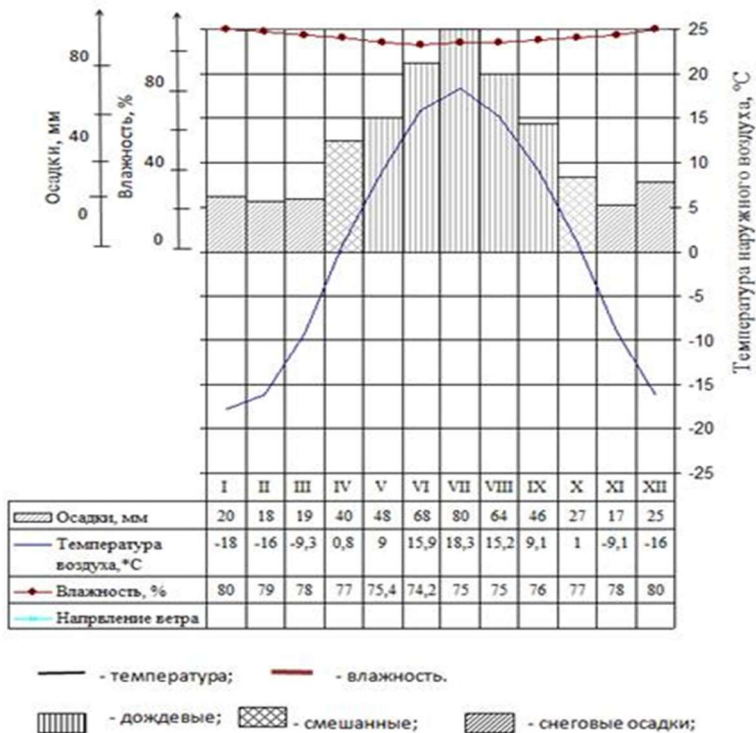


Рис.4.2. Пример дорожно-климатического графика

Задание 4.2. Для выбранного участка автомобильного шоссе подобрать ближайшую метеорологическую станцию. По климатическим данным декадной высоты снежного покрова нарисовать сезонный ход высоты снежного покрова. По высоте снежного покрова (h [см]) за последнюю декаду рассчитать запасы воды в снеге исходя из плотности слежавшегося снежного покрова $d=0,6$ г/см³.

Применительно к участку шоссе, в зависимости от траектории дорожного полотна рассчитать метелевый снегоперенос.

Рекомендации. Из архивных данных с сайта *rp5.ru* выбрать климатические данные. График сезонного хода высоты снежного покрова построить в редакторе EXCEL или в коде Python в виде столбиковой диаграммы. Сделать вывод о формировании постоянного снежного покрова и о последней весенней декаде со снежным покровом. Выявить декаду с максимальной высотой снежного покрова.

Запасы влаги рассчитать по формуле [2, 17]:

$$Z=10 \cdot d \cdot h \text{ [мм]}$$

Запасы воды на площади 1 га определяем по формуле:

$$W=100 \cdot d \cdot h \text{ [м/га]}$$

Для оценки снегопереноса по архивным данным прошлого года за три зимних месяца выбрать сроки наблюдений:

- с температурой воздуха ниже 0⁰С,
- со скоростями ветра на высоте флюгера больше 6 м/сек.

Все подобные случаи с соответствующими данными занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Форма для решения задачи

Скорость ветра, м/с	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
6								
7								
8								
.....								

В ячейку занести продолжительность скорости ветра соответствующего направления. В соответствии с ориентацией участка шоссе определить наиболее опасные направления ветра для переноса снега.

Из этих направлений отобрать наиболее продолжительный румб. Для этого румба по каждой скорости ветра определить интенсивность переноса снега ($I = C \cdot V^3$ [м³/(м·ч)]) и определяем объемы переносимого снега ($W = I \cdot \tau$ [м³/м], где τ – продолжительность действия ветра данного направления с данной скоростью (в часах)). Далее суммировать по каждой скорости и получить суммарный перенос снега по данному румбу. C – коэффициент пропорциональности, зависящий от плотности снега для большей части ЕТР (кроме восточных и юго-восточных районов, где плотность снега равна 0,25 т/м³) коэффициент C принимается равным 0,00031, для районов Сибири, востока и юго-востока ЕТР – 0,00026.

4.2. Авиационная климатология

Авиационная климатология – прикладная дисциплина, изучающая влияние климатических условий у земной поверхности и в свободной атмосфере на авиационную технику и деятельность авиации, и занимающаяся разработкой способов и форм обеспечения авиации климатическими данными.

Для обеспечения авиации используется большое количество климатических характеристик различных метеорологических величин. Данные климатические характеристики используются авиационными специалистами различных профилей. На аэродромах в готовом виде климатическая информация содержится в Климатическом описании аэродрома, которое представляет собой справочное пособие. Сведения из климатического описания включаются в Инструкцию по производству полетов на аэродроме. Данные руководящие документы

изучаются авиационными специалистами различных профилей, в том числе, метеорологами, с целью ознакомления с климатическими особенностями района аэродрома.

Порядок и правила составления Климатического описания аэродрома определены в руководящем документе РД 52.21.692-2007 «Требования к составлению климатического описания аэродрома» [19].

Согласно данному РД:

«Климатическое описание аэродрома должно составляться и обновляться для каждого (основного и запасного) аэродрома не реже 1 раза в 5 лет. При переносе пункта наблюдений следует составлять новое климатическое описание.

Климатическое описание должно уточняться, если в ближайшем окружении аэродрома (пункта наблюдений) произошли изменения, которые могут отразиться на однородности ряда наблюдений, а также при использовании другого типа измерительного прибора.

При отсутствии изменений местоположения пункта наблюдений (АМСГ) климатическое описание уточняют путем пересчета данных, помещенных в аэродромные климатические таблицы и климатические сводки, за более длительный период, добавляя данные наблюдений за годы после первоначального составления климатического описания». Таким образом, климатическое описание обновляется не реже, чем 1 раз в 5 лет.

Кроме климатических характеристик, которые в настоящее время в связи со стремительным развитием специализированного программного обеспечения рассчитываются автоматически, уточняются такие разделы описания, как «Физико-географическое описание аэродрома» и «Общие сведения о климате района аэродрома».

Для решения задач по планированию строительства или реконструкции аэродрома, планированию использования воздушного пространства, а также при подготовке к полету, требуется целый ряд климатических характеристик многих метеорологических величин.

Для непосредственного использования в авиации (для принятия конкретных решений) готовых климатических данных нет. Поэтому для каждой конкретной задачи, при решении которой авиационному специалисту требуются авиационно-климатические данные, составляют авиационно-климатическую справку для требуемого пункта, района или авиатрассы на определенный период времени, например, на месяц или сезон.

При описании климатов пользуются разными климатическими характеристиками или, показателями. Наиболее важными из них являются следующие:

- 1) средние значения метеорологических величин;
- 2) среднее число случаев метеорологического явления или среднее число дней с явлением;
- 3) абсолютное и среднее максимальное и минимальное значение метеорологической величины;

- 4) повторяемость разных значений или градаций метеорологических величин или явлений;
- 5) обеспеченность, т. е. вероятность превышения или непревышения заданного значения метеорологической величины;
- 6) изменчивость (дисперсия) метеорологической величины, т. е. размах колебаний ее значений около средней величины;
- 7) период возврата явления или значения метеорологической величины;
- 8) средние даты наступления (или окончания) явления;
- 9) средние даты установления и разрушения устойчивого снежного покрова, начала и окончания безморозного периода, устойчивого перехода температуры через 0° , и другие;
- 10) стандартные отклонения от среднего значения.

Для оценки условий полета и посадки самолетов и вертолетов используют главным образом повторяемость, среднее число дней с явлениями, максимумы и минимумы метеорологических величин, средние и крайние даты интересующих авиацию периодов, например, периода весеннего (осеннего) размораживания грунтового аэродрома, средний эквивалентный ветер.

Составление раздела «Физико-географическое описание района аэродрома»

В соответствие с [25]: «В раздел «Физико-географическое описание района аэродрома» следует включать **сведения о пункте наблюдений и краткое физико-географическое описание района аэродрома** и его ближайшего окружения в радиусе от 30 до 50 км.

Сведения о пункте наблюдений содержат:

- название аэродрома, его географические координаты (широта и долгота);
- абсолютную отметку аэродрома (метеорологической площадки над уровнем моря, нуля барометра), тип и отметку репера государственного нивелирования;
- разность между поясным (местным) и всемирным скоординированным средним (гринвичским) временем (ВСВ), между средним солнечным и поясным временем;
- значение магнитного склонения;
- положение, характер и состояние взлетно-посадочной или запасной полос (ВПП, ЗП), а также магнитные курсы посадки, наличие светосигнальной системы;
- категорию аэродрома и связанные с этим условия посадки самолетов.

В краткое физико-географическое описание района аэродрома необходимо включать следующие сведения:

- краткие геоморфологические характеристики (страна, область, провинция, ландшафт, рельеф, водный бассейн и др.);
- рельеф и орографию района аэродрома,

- гидрологические характеристики (реки, каналы, озера, болота и др.);
- описание макрорельефа (равнина, предгорье, горы, холмы и прочие преобладающие в указанной зоне формы рельефа);
- сведения о водных объектах (расстояние до каждого, характеристика, название, размер),
- характер растительности (лесная, степная, лесостепь, болото, тундра, пустыня и др.);
- населенные пункты, промышленные предприятия (указать расстояние до аэродрома).

В радиусе до 5 км от пункта наблюдений описывают более детально рельеф местности, водные объекты, наличие затопляемой территории, особенности растительности, подстилающей поверхности.»

Задание 4.3. Для аэродрома, указанного преподавателем (выбранного самостоятельно), составить раздел «Физико-географическое описание района аэродрома».

Рекомендации. На практике сведения о пункте наблюдения берутся из Инструкции по производству полетов на аэродроме, а, следовательно, будут известны. Поэтому при заполнении данного подраздела следует ограничиться сведениями доступными из Интернета.

При заполнении подраздела «Краткое физико-географическое описание района аэродрома» следует последовательно описать макромасштабные физико-географические особенности района аэродрома, который согласно [25] ограничивается удалением 30-50 км, и более подробно микромасштабные особенности – на удалении до 5 км.

Следует отметить, что целью данного описания является изложение особенностей района аэродрома с точки зрения анализа возникновения благоприятных условий для опасных явлений погоды. С одной стороны, описание должно быть полным, т.е. включать все вышеперечисленные элементы физико-географических особенностей местности (рельеф, гидрографию, почвы и растительность, населенные пункты, промышленные предприятия). С другой стороны, описание не является самоцелью, поэтому не должно быть чересчур подробным и детальным.

Наличие горных хребтов, с одной стороны, может препятствовать проникновению низкой облачности при перемещении атмосферных фронтов и воздушных масс с определенных направлений, приводит к образованию фенового эффекта (адиабатическому нагреванию воздуха и падению в нем относительной влажности при нисходящих движениях за горным хребтом, что приводит к рассеянию облачности ниже вершины горного хребта, рис. 4.3). Таким образом, на подветренной стороне горного хребта погодные условия улучшаются.



Рис.4.3. Схема фенного эффекта [7]

С другой стороны, наличие горных хребтов, а также отдельных гор и возвышенностей, может способствовать задержке и накоплению низкой облачности на наветренных склонах, что способствует понижению облачности и выпадению интенсивных осадков.

Различного рода сужения и неровности рельефа могут способствовать локальному усилению ветра, искривлению воздушных потоков, а также образованию местных ветров (горно-долинных циркуляций, тех же фенов, боры и т.п.).

При описании гидрографии следует, в первую очередь, отметить наличие крупных водоемов (океана, моря), которые могут быть причиной формирования муссонного или морского климата. В случае близости океана или моря следует отметить характер морских течений (теплое или холодное), которые обуславливают наличие или отсутствие дополнительной влаги.

Крупные реки и (или) озера также приводят к смягчению климата и притоку влаги в определенные сезоны года, так как оказывают на приземный слой атмосферы термостатирующее влияние. Реки могут иметь различные механизмы питания, о которых следует упомянуть в тексте. Обилие рек и озер свидетельствует о преобладании выпадения осадков над испарением.

Реки и озера являются продуктом деятельности климата и причиной возникновения опасных явлений погоды. Радиационные туманы первоначально возникают в низинах и вблизи водных объектов. Кучево-дождевая облачность, а также комплекс опасных явлений погоды с ней связанный, также возникают в первую очередь вблизи водных объектов.

Почвы и растительность также являются продуктом деятельности климата. Почвы формируются на некоторой первооснове – результате геологических процессов. Все живое (животные и растения) в процессе своей жизнедеятельности и после изменяют свойства почв. Из-за процесса выветривания (совместного влияния излучения Солнца, выпадения осадков и ветра) почвы приобретают современные свойства. Если земледелие и скотоводство культивируется на протяжении нескольких веков и даже тысячелетий, то это не может не сказаться на свойствах почв.

Глинистые и суглинистые почвы лучше удерживают влагу, чем песчаные. Это связано с особенностями структуры и состава этих типов почв (способность

почвы удерживать влагу зависит от размера частиц, содержания органических веществ и структуры почвы). Поэтому песок достаточно быстро пропускает через себя воду. Радиационные туманы над ней возникают, разве что, при благоприятных синоптических условиях в ночь после дождя или осенью. Над глинистыми, суглинистыми и супесчаными почвами радиационные туманы возникают чаще.

Населенные пункты и промышленные предприятия являются источниками дополнительного поступления в атмосферу аэрозолей и загрязняющих веществ, которые там становятся ядрами конденсации и способствуют облако- и осадкообразованию на подветренной стороне от них.

Составление раздела «Общие сведения о климате района аэродрома»

В соответствие с [25]: «Раздел «Общие сведения о климате района аэродрома» содержит климатические нормы по метеорологическим величинам, которые оказывают влияние на выполнение полетов. Сведения о средних многолетних величинах выбирают из климатических справочников. Последнее издание справочников [21] осуществлено в 1989-2001 гг. Если в климатическом справочнике отсутствуют сведения по конкретной АМСГ, то в исключительных случаях используют климатические нормы и средние многолетние данные по ближайшей метеорологической станции. Как правило, использование климатических норм соседних метеорологических станций возможно только в условиях равнинной местности.

При описании климата аэродрома рекомендуется использовать следующие метеорологические величины и их характеристики:

- средние месячные и годовые, максимальные и минимальные значения температуры воздуха;
- средние даты наступления и окончания заморозков, продолжительности безморозного периода; число дней с оттепелями в зимний период;
- средние месячные и годовые значения абсолютной и относительной влажности воздуха;
- средний балл общей и нижней облачности, количество ясных и пасмурных дней;
- среднее годовое количество осадков, распределение их по месяцам; число дней с осадками;
- преобладающее направление ветра;
- средние даты установления и схода устойчивого снежного покрова, средняя высота снежного покрова;
- число дней с туманами, грозами, метелью, гололедом по месяцам и за год.

Данные о нормах желательно помещать в виде таблиц; анализ климатических условий, влияющих на работу аэродрома, следует давать в виде пояснений

к таблицам.»

Задание 4.4. Для аэродрома, указанного преподавателем (выбранного самостоятельно), составить раздел «Общие сведения о климате района аэродрома».

Рекомендации. Метеорологические величины и их характеристики (данные о нормах), перечисленные в теоретической части к данному заданию, найти в [21] и представить в табличной форме, которые дополнены анализом климатических условий, влияющих на работу аэродрома.

В качестве пояснений к данным о температуре следует указать тип климата, определяющий амплитуды суточного и годового хода температуры. Также целесообразно указать названия самого холодного и самого теплого месяцев в году; их средние многолетние температуры; значения абсолютных минимумов и максимумов температуры и, в каком году они наблюдались.

В качестве пояснений к данным о других метеорологических величинах целесообразно указать их средние многолетние значения и особенности их изменения по сезонам года.

Построение климатической розы ветров

При планировании строительства аэродромов и определении расположения взлетно-посадочной полосы учитывают рекомендации по выполнению этапов взлета и посадки воздушных судов против ветра, что способствует сокращению длины разбега/пробега, потребной скорости отрыва/посадочной скорости и сокращению расхода топлива. Также для каждого типа воздушного судна в руководящих документах прописано ограничение по скорости бокового ветра. Для соответствующего учета требуется информация о преобладающем направлении ветра в районе исследования. Такую информацию получают из анализа розы ветров, которая представляет собой график, отображающий повторяемость (в % или днях) направлений ветра, где длина луча, пропорциональна частоте ветра.

Принято разделять понятия общей (сезонной или годовой) розы ветров и климатической розы ветров.

Первая отражает режим ветра за конкретный период (зима, лето или год).

Вторая – это графическое представление климатических характеристик, отображающее повторяемость появления гидрометеорологических событий (явлений, попаданий значений величин в заданные интервалы и т.п.) в зависимости от направления скорости ветра.

Климатические розы ветров, как правило, строятся по многолетним (обычно 10 и более лет) данным для характеристики среднего режима ветра в регионе с использованием полярной системы координат. Одна ось – это радиус-вектор, длина которого соответствует в определённом масштабе значению климатического показателя. Вторая ось – это ориентация радиус-вектора, которая соответствует направлению ветра. Обычно для угловой шкалы используется в

качестве меры – румб (сектор). Если один румб соответствует сектору 45° , то в климатической розе ветров будет 8 румбов. Если размер румба – 22° , то в климатической розе ветров 16 румбов. Бывает 32 румба.

Задание 4.5. Для аэродрома, указанного преподавателем (выбранного самостоятельно):

- заполнить таблицу повторяемостей ветров различных скоростей и направлений.
- построить гистограмму повторяемости ветров различных направлений (румбов).
- построить розу повторяемостей ветров различных направлений (румбов).
- построить скоростную розу ветров.

Рекомендации. Рассмотрим в качестве примера процесс построения 8-ми румбовой розы повторяемости ветров различных направлений.

Первоначально следует занести в таблицу, созданную в Microsoft Excel, сведения о повторяемости ветров различных диапазонов соответствующих румбов. Данные наблюдений можно скачать с сайтов [47, 49-52].

Проводится анализ информации о повторяемости ветров различных направлений для метеорологической станции, наиболее близко расположенной от аэродрома. Следует учитывать, что к румбу относят все ветры, которые попадают в сектор. В данном случае один румб соответствует сектору 45° .

Для каждого румба откладывается радиус-вектор вдоль оси румба. Длина вектора пропорциональна (в соответствии с масштабным коэффициентом) повторяемости ветра в данном секторе. Рядом с концом вектора подписывается вероятность повторения ветра данного румба. Например, вероятность ветра 0 румба равна 0,07 или, другими словами – повторяемость ветра 7 %. В центре розы наносится повторяемость штилей.

Результат построения 8-ми румбовой розы повторяемости ветров различных направлений представлен на рис. 4.4.

Для построения скоростной розы ветров необходимо составить таблицу интегральных повторяемостей скоростей ветра по румбам.

Интегральная вероятность P вычисляется по следующей ф.4.4 [5, 20].

$$P = \frac{(m-0,3)}{(n+0,4)} \cdot 100, \quad (4.4)$$

где m – порядковый номер члена ряда; n – общее число лет.

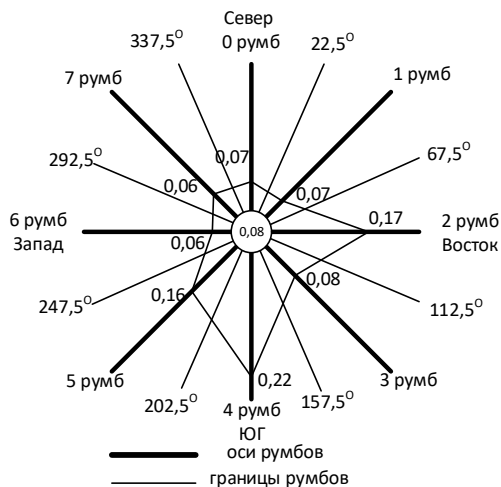


Рис. 4.4. Восьмирумбовая роза повторяемости ветров различных направлений

Расчет ветровой загрузки аэродрома

Условия эксплуатации самолетов на аэродромах в значительной степени характеризуются особенностями режима приземного ветра. Далеко не всегда направление ветра совпадает с направлением взлетно-посадочной полосы.

При боковом ветре разрешается осуществлять взлет или посадку лишь в пределах допустимой для данного самолета скорости бокового ветра. Боковым ветром называется проекция вектора скорости ветра на направление, перпендикулярное оси ВПП, а, следовательно, на направление взлёта или посадки воздушного судна.

Для каждого типа самолета установлены свои пределы допустимых значений бокового ветра в зависимости от конструкции шасси, веса самолета, парусности фюзеляжа и вертикального оперения. Решение этой задачи сводится к вычислению повторяемостей ветров, при которых боковая составляющая ветра не превышает допустимое значение, т.е., получение оценок –

$$P_{U_{\partial}} = P(U_{\text{бок}} < U_{\text{Дбок}})$$

где $U_{\text{Дбок}}$ – допустимое значение бокового ветра.

Величина $P_{U_{\partial}}$ называют ветровыми нагрузками ВПП или коэффициентами ветровой загрузки. Обычно их выражают в процентах. Ветровая нагрузка зависит от типа воздушного судна, т.к., для каждого типа своё значение $U_{\text{Дбок}}$.

На рис. 4.5. представлена схема, иллюстрирующая способ определения бокового ветра по формуле:

$$U_{\text{бок}} = U \cdot \sin \gamma = U \cdot \sin(\rho - \alpha),$$

где α – азимут ВПП; ρ – угол ветра; γ – угол сноса ($\gamma = \rho - \alpha$); $U_{бок}$ – боковая составляющая скорости ветра.

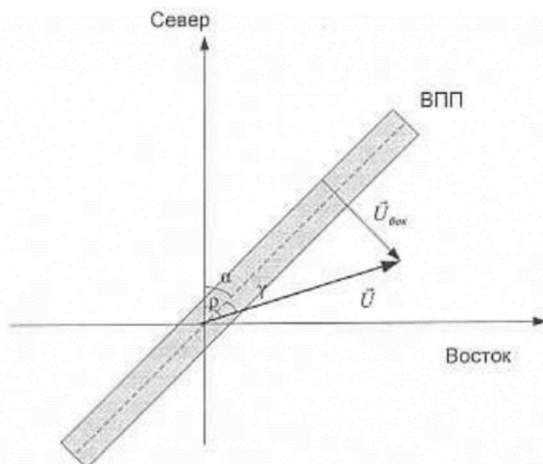


Рис.4.5. Схема, иллюстрирующая способ определения $U_{бок}$

Найдем отношение между углом сноса и скоростью ветра, которое выполняется при условии, когда боковой ветер $U_{бок}$ не превышает некоторое допустимое значение $U_{Дбок}$: $U \cdot \sin \gamma \leq U_{Дбок}$

Отсюда можно получить $\gamma_{д}$ при заданных $U_{Дбок}$ и U (ф.4.5):

$$\gamma_{д} \leq \arcsin(U_{Дбок}/U), \quad (4.5)$$

С помощью (4.5) можно рассчитать $\gamma_{д}$ для различных скоростей ветра U скоростей ветра при заданных допустимых значениях $U_{Дбок}$. Пример расчетов $\gamma_{д}$ с представлением их в табличной форме, и пример цы приведен в табл. 4.2.

Задание 4.6. Для аэродрома, указанного преподавателем (выбранного самостоятельно) произвести расчет ветровой загрузки.

Рекомендации. Для аэродрома определить ближайшую станцию метеорологических наблюдений. Определить для данной станции по климатическому архиву [47] повторяемости ветров различных диапазонов соответствующих румбов.

Пусть имеется повторяемость ветра, рассчитанная для 8 румбов – С; СВ; В; ЮВ; Ю; ЮЗ; З; СЗ (будем использовать данные по 8 румбам, хотя на практике целесообразно использовать повторяемости по 16 румбам).

Таблица 4.2. Допустимые углы сноса γ_D при различных значениях скорости ветра U и допустимых значениях $U_{\text{Дбок}}$

U [м/с]	γ_D , град		
	$U_{\text{Дбок}} = 6$ м/с	$U_{\text{Дбок}} = 8$ м/с	$U_{\text{Дбок}} = 10$ м/с
0 – 6	90	90	90
8	49	90	90
10	37	53	90
12	30	42	56
14	25	35	46
16	22	30	39
18	19	26	34

Строим таблицу вероятностей ветра различной скорости по совмещенным румбам, суммируя повторяемости в соответствующих совмещенных (противоположных) румбах (С +Ю); (В +З); (СВ + ЮЗ); (ЮВ + СЗ). Повторяемости в противоположных по направлению румбах объединяют, т.е. используют повторяемости различной скорости ветра в совмещенных румбах. Это возможно, так как взлет и посадка воздушного судна производится так, чтобы проекция ветра на ВПП была направлена навстречу самолёту.

По данным этой таблицы строим график в прямоугольной системе координат, который называют развернутой совмещенной розой ветров по градациям скорости (рис.4.6.).

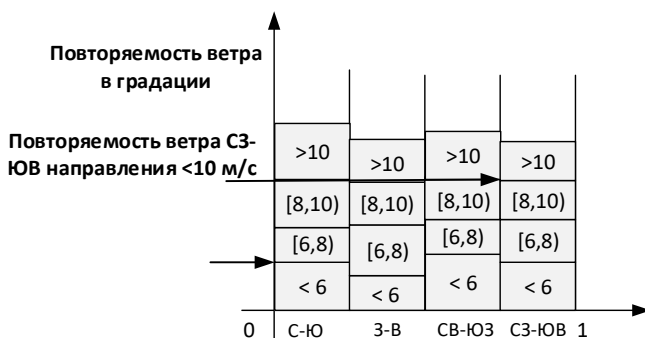


Рис. 4.6. Развернутая совмещенная роза ветров по градациям скорости

Для этого на оси ординат откладывается вероятность различной скорости ветра, по оси абсцисс помещается 4 одинаковых отрезка, соответствующих каждому из 4-х совмещенных румбов (по 45°).

Строятся первые 4 прямоугольника (нижние на рис. 4.6), основаниями которых являются отрезки на оси абсцисс совмещенных румбов, а высотами - отрезки, равные вероятностям наблюдения скоростей ветра 0-6 м в соответствующих совмещенных румбах. Очевидно, что площадь первого прямоугольника будет пропорциональна вероятности ветров со скоростью 9-6 м/сек, отклоняющихся от северного или южного направления на угол не более $22,5$ и т.д.

Подобным образом строятся прямоугольники, соответствующие вероятностям всех остальных градаций скорости ветров. Общая площадь диаграммы будет составлять значение 1, если повторяемость выражена в единицах вероятностей и 100, если выражена в процентах.

Далее выделяем из общей площади ту ее часть, которая будет пропорциональна вероятности таких случаев, когда скорость ветра не превышает допустимую величину. Для этого рассматриваем каждый из прямоугольников и анализируем – не будет ли превышено значение $U_{\text{Дбок}}$

Например, пусть: направление ВПП СВ-ЮЗ, при этом $U_{\text{Дбок}} = 6$ м/с. Следовательно, при любой скорости ветра меньшей 6 м/с может быть осуществлен взлёт и посадка воздушного судна. Поэтому штрихуем все нижние прямоугольники. Далее при ветре 6 - 8 м/с взлет и посадка может быть в том случае, если угол сноса не будет превышать значение 49° (см. табл. 4.2).

Рассмотрим прямоугольник 6-8 м/с с направлением СВ-ЮЗ. При любом ветре в рамках данного румба угол сноса не будет превышать 49° , следовательно, $U_{\text{Дбок}}$ не будет превышена. Таким образом, штрихуем этот прямоугольник (рис. 4.7).

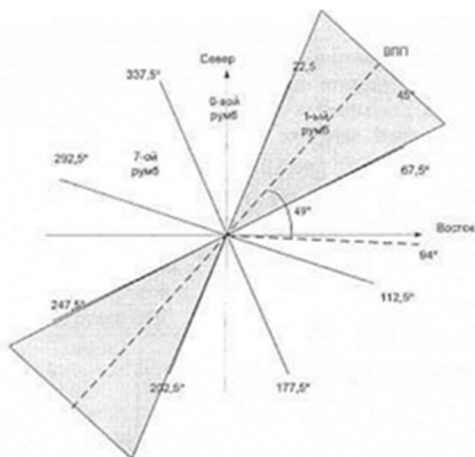


Рис. 4.7. Иллюстрация к анализу непревышения бокового ветра для ветров в интервале 6+8 м/с для совмещённого румба СВ - ЮЗ

Рассмотрим прямоугольник 6-8 м/с с направлением 3 – В (рис. 4.8). При ветре 8 м/с в рамках данного румба боковой ветер не будет превышать допустимую скорость 6 м/с в угле 49° от направления ВПП. Следовательно, для 2-го румба ветер в угле, очерченном лучами $67,5^\circ$ и 94° , не будет превышать $U_{\text{Дбок}}$. В угле между 94° и $112,5^\circ$ – будет превышать $U_{\text{Дбок}}$ (рис. 4.8.). Поэтому штрихуем долю $(94-67,5)/45$ рассматриваемого прямоугольника, соответствующую повторяемости ветра совмещённого румба 3 – В (см. рис. 4.9).

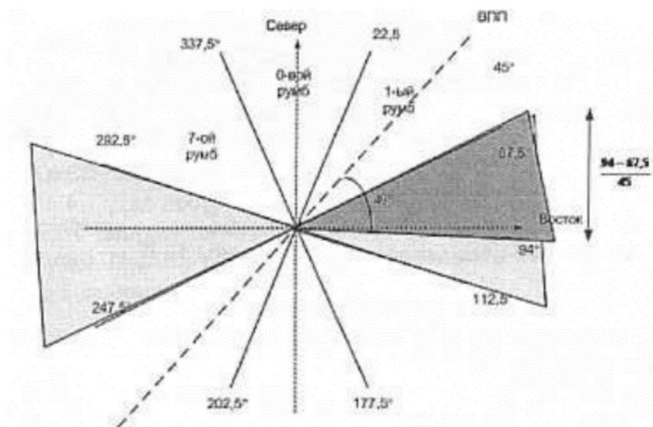


Рис. 4.8. Иллюстрация к анализу непревышения бокового ветра для ветров в интервале 6+8 м/с для совмещённого румба 3 - В

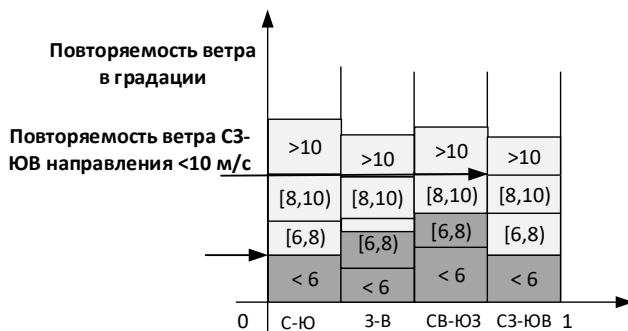


Рис. 4.9. Иллюстрация к штриховке доли допустимого ветра в интервале скоростей 6-8 м/с для совмещённого румба 3-В

Аналогично рассматриваются и штрихуются другие прямоугольники. В результате получается схема, представленная на рис. 4.10.

Затем рассчитывается доля заштрихованной площади, которая равна ветровой нагрузке данной ВПП для заданного $U_{\text{Дбок}}$. Применительно к рис. 4.10,

ветровая нагрузка для ориентации ВПП вдоль направления СВ - ЮЗ и допустимой боковой скорости ветра 6 м/с, а также данных повторяемостей ветра в градациях, приблизительно равна 0,56 (или 56 %).

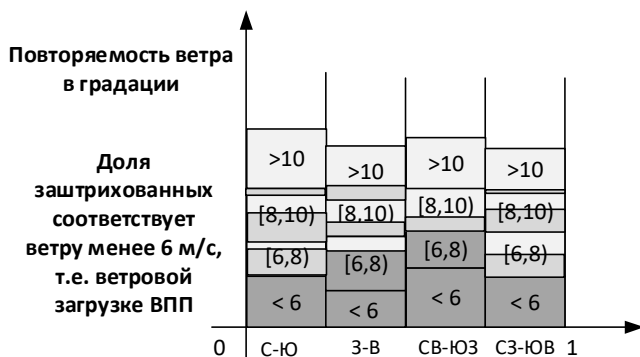


Рис. 4.10. Иллюстрация к штриховке доли допустимого ветра для совмещенного румба З - В

Расчет повторяемости метеорологических условий ниже установленных для аэродрома минимумов

Повторяемость некоторого значения (или некоторой градации) метеорологической величины есть отношение числа случаев, когда наблюдалось данное значение величины, к общему числу наблюдений. Это отношение часто выражают в процентах.

Если повторяемость получена на основании длинного ряда наблюдений, то можно считать, что она практически выражает вероятность повторения данной градации величины и в те годы, которые выходят за пределы использованного ряда лет. Поэтому повторяемость, полученную из длинного ряда лет, в климатологии часто называют вероятностью.

Низкая облачность и ограниченная видимость являются одним из основных метеорологических факторов, затрудняющих работу авиации. В целях обеспечения безопасности и регулярности полетов в сложных метеорологических условиях устанавливаются значения высоты нижней границы облачности (ВНГО) и видимости, при которых разрешается выполнять полеты подготовленному командиру воздушного судна (КВС), эксплуатировать воздушное судно и использовать аэродром для взлета и посадки воздушных судов. Минимумы устанавливаются для КВС для взлета, посадки и полета по правилам визуального полета (ВПВ), а также для аэродрома и для воздушного судна (рис. 4.11).

Для обеспечения безопасности и эффективности полетов в наиболее слож-

ных метеорологических условиях устанавливаются категорированные минимумы ИСАО.

Минимум I категории – точный заход на посадку и посадка по приборам при высоте принятия решения не менее 60 м (200 ft) или при видимости не менее 800 м, или дальности видимости на ВПП не менее 550 м.

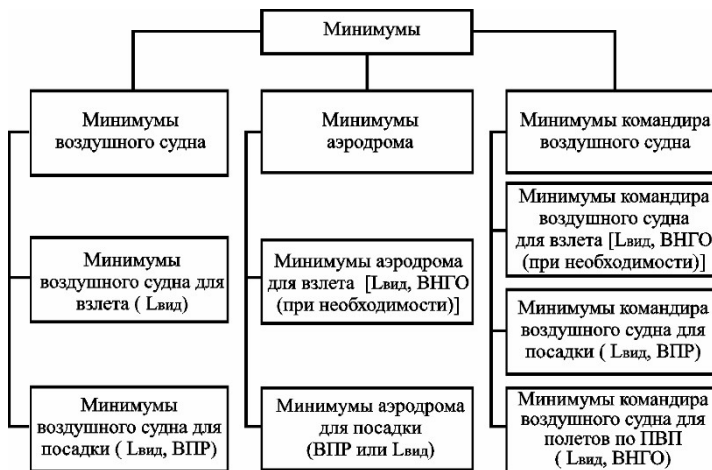


Рис. 4.11. Схема видов минимумов погоды

Высота принятия решения (ВПР) – установленная абсолютная или относительная высота, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг, в случаях, если до достижения этой высоты КВС не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку или положение воздушного судна в пространстве, или параметры его движения не обеспечивают безопасности посадки. Высота принятия решения отсчитывается от уровня порога ВПП или от среднего уровня моря. Порог ВПП – это начало участка ВПП, который может использоваться для посадки воздушных судов.

Минимум II категории – точный заход на посадку и посадка по приборам при ВПР менее 60 м (200 ft), но не менее 30 м (100 ft) и при дальности видимости на ВПП не менее 300 м.

Минимум IIIA категории – точный заход на посадку и посадка по приборам:

- а) при ВПР менее 30 м (100 ft) или без ограничения по высоте принятия решения;
- б) при дальности видимости на ВПП не менее 200 м.

Минимум IIIB категории – точный заход на посадку и посадка по приборам:

а) при ВПР менее 15 м (50 ft) или без ограничения по высоте принятия решения;

б) при дальности видимости на ВПП менее 200 м, но не менее 75 м.

Минимум ИС категории – точный заход на посадку и посадка по приборам без ограничения по ВПР и дальности видимости на ВПП.

Градации для оценки повторяемости видимости и высоты низкой облачности всегда берутся односторонние в соответствии с установленными для данного аэропорта минимумами. Например, для видимости могут быть выбраны градации меньше 2000, 1500, 1000, 800 и 400 м, а для высоты облачности меньше 300, 200, 150, 100, 60 и 30 м.

Поскольку минимумов много и дать климатические характеристики для каждого из них практически невозможно, выбирают небольшое число наиболее типичных минимумов.

Сумма повторяемостей видимости $P(V)$ и высоты облачности $P(h)$ для некоторого минимума $\Pi = P(V) + P(h)$ может быть использована для приближенного расчета повторяемости комплекса $P(M)$, характеризующего данный минимум. Если $\Pi < 40\%$, то $P(M) = 0,87 \Pi$.

Задание 4.7. Для аэродрома, указанного преподавателем (выбранного самостоятельно) определить:

- повторяемость видимости $P(V)$ менее XXXX метров;
- повторяемость высоты облаков $P(h)$ менее XXX метров;
- произвести приближенный расчет повторяемости комплекса $P(M)$.

Значения берутся по категории аэродрома.

Рекомендации. Информацию о категории аэродрома и соответствующих метеорологических минимумах получить на сайте [48].

Определить ближайшую к аэродрому станцию метеорологических наблюдений. Для указанного преподавателем (выбранного самостоятельно) месяца или сезона определить для данной станции по климатическому архиву [48] повторяемости видимости менее XXXX метров и повторяемость высоты облаков менее XXX метров.

Ниже приведен пример расчета повторяемости комплекса $P(M)$.

Допустим, для аэродрома по многолетним данным определены:

Повторяемость видимости менее 1000 метров $P(V) = 20\%$.

Повторяемость высоты облаков менее 100 метров $P(h) = 15\%$.

Далее находим сумму:

$$\Pi = 20 + 15 = 35\%$$

Условие $\Pi < 40\%$ выполняется.

Рассчитываем комплекс:

$$P(M) = 0,87 \times 35\% = 30,45\%.$$

Повторяемость видимости и облачности удобно анализировать в Python: загрузить архив наблюдений с meteo.ru/rp5.ru в формате CSV, отфильтровать по

порогу ($df[df'vis'] < 1000$)), получить % от объема выборки. График повторяемости строится через `matplotlib`.

5. Агроклиматология

Сельское хозяйство, в особенности растениеводство, является сферой хозяйственной деятельности максимально зависящий от метеорологических и климатических условий. На долю сельского хозяйства приходится 59% хозяйственных потерь от неблагоприятных погодно-климатических условий [Л.А.Хандожко]. Если потери в сельском хозяйстве рассматривать в денежных значениях, то по данным Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза РФ совокупный ущерб с 2012 г. по 2017 г. составил более 41 млрд.рублей. Для оценки потерь за последние годы можно проанализировать объемы страховых выплат сельскохозяйственным предприятиям в качестве компенсаций ущерба от неблагоприятных погодных условий. По данным Корнея Биждова [НСА, Российская газета] наблюдается рост страховых отчислений и в 2024 г. они достигли 8,8 млрд.рублей (в 2022 г. – 3,8, 2023 – 5 млрд.рублей). Все это свидетельствует о важности обеспечения сельского хозяйства метеорологической и климатической информацией.

Агрометеорологическое и климатическое обслуживание отраслей сельского хозяйства является одной из главных задач гидрометеорологической службы России. Росгидромет обслуживает центральные организации республиканского и краевого значений. Республиканские, областные (краевые) организации обслуживаются гидрометеорологическими бюро. Гидрометеорологические станции и посты ведут агрометеорологическое обслуживание местных производителей сельскохозяйственной продукции. Теоретические, методические и практические подходы гидрометеорологического обслуживания сельского хозяйства формируются в рамках такого научного направления, как сельскохозяйственная метеорология.

Наука самостоятельна только тогда, когда предмет ее изучения, задачи и конечные результаты, с которыми она выходит в производство, не совпадают с предметом, задачами и целями других наук (акад.Ф.Ф. Давитая, 1952).

Сельскохозяйственная метеорология – это наука, изучающая метеорологические, климатические, гидрологические и почвенные условия в их взаимодействии с объектами и процессами сельскохозяйственного производства (ГОСТ 17713–89). Как для любого современного научного направления, так и для сельскохозяйственной метеорологии, ей характерны системность и комплексность на основе взаимодействия различных научных направлений: физиологии растений, геофизики, гидрометеорологии, почвоведения и др. Примерная структура сельскохозяйственной метеорологии представлена на рисунке 5.1.



Рис.5.1. Структура сельскохозяйственной метеорологии

Важное место в структуре сельскохозяйственной метеорологии занимает агроклиматология.

Агроклиматология – раздел агрометеорологии, изучающий климатические условия в их взаимосвязи с объектами и процессами сельскохозяйственного производства.

Основные задачи агроклиматологии:

- 1) выявление климатических особенностей территорий с целью успешности возделывания сельскохозяйственных культур;
- 2) агроклиматическое обоснование использования различных систем земледелия, агротехнических и мелиоративных мероприятий;
- 3) изучение и эффективное использование микроклимата отдельных территорий для целей сельскохозяйственного производства;
- 4) исследование изменения климата и влияние его на урожайность сельскохозяйственных культур.

Приведенные выше задачи решаются, в основном, за счет использования специализированных агроклиматических показателей. Эти показатели характеризуют и оценивают степень комплексного воздействия погодно-климатических условий на онтогенез растений. Это можно понять из приведенных ниже толкований термина – агроклиматический показатель [2, 17, 36].

Агроклиматические показатели – количественное выражение связи между факторами климата, с одной стороны, и развитием, ростом, зимостойкостью и формированием урожая, с другой стороны

Агроклиматические показатели – количественное выражение степени соответствия агроклиматических условий потребностям сельскохозяйственных культур и объектов.

Существуют особые требования к этим показателям:

- 1) должны быть биологически обоснованными;
- 2) должны выражать известные отношения между физическими процессами в атмосфере и жизненными функциями растений;
- 3) должны быть доступными и простыми в использовании;
- 4) должны по возможности отражать совместное действие нескольких метеорологических величин на растения.

Существующие показатели можно сгруппировать по следующим группам:

1) агроклиматические показатели обеспеченности светом и солнечной энергией: продолжительностью светового дня, фотосинтетическая активная радиация – $\sum Q_{фap}$, радиационный баланс $\sum R$ за вегетационный период;

2) агроклиматические показатели обеспеченности теплом: суммы активных (САТ) и эффективных температур (ЭТ) $\sum t_{акт}$, $\sum t_{эфф.}$, даты начала и завершения теплого сезона, вегетации и активной вегетации и соответственно, продолжительности периодов среднесуточных температур выше $t > 0,5, 10^{\circ}C$ и др.;

3) агроклиматические показатели обеспеченности влагой: месячные суммы осадков, гидротермический коэффициент (ГТК) *Селянинова*, индексы испаряемости и засушливости, влагозапас почвы и др.);

4) агроклиматические показатели условий перезимовки: сумма температур $\sum t_{<0}$, продолжительность холодного периода, высота снежного покрова $h_{сн.покрова.}$, минимальная температура t_{min} и др.;

С помощью указанных показателей анализируются агроклиматические условия и обеспеченность исследуемых районов агроклиматическими ресурсами. Агроклиматические условия – это агрометеорологические условия, наблюдающиеся в течение многих лет. Агроклиматические ресурсы – это совокупность агроклиматических факторов, создающие условия для формирования продуктивности сельскохозяйственных культур [Чирков, Шашко]. Ресурсные характеристики для умеренной широты Европейской части России приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Агроклиматические ресурсы ЕЧР (по Д.И. Шашко)

Агроклиматический пояс	Природная зона (подзона)	$\sum t_{>10^{\circ}C}$	Коэффициент атмосферного увлажнения*
Умеренный пояс	Средняя тайга	1200-1600	1,3
	Южная тайга	1600-2200	1,0 – 1,3
	Широколиственные леса, лесостепь	2200-2700	0,8 – 1,0
	Типичная степь	2700-3400	0,6 – 0,8
	Сухая степь	2800-3500	0,4 – 0,6
	Полупустыни	2800-3600	0,2 – 0,3

*Отношение среднегодового количества осадков к испаряемости.

По параметрам агроклиматических ресурсов в агроклиматологии принято проведение агроклиматического районирования территорий. Агроклиматическое районирование – деление территории по признакам сходства и различия агроклиматических ресурсов и по степени удовлетворения этими ресурсами потребностей сельскохозяйственных объектов (рис.5.2).

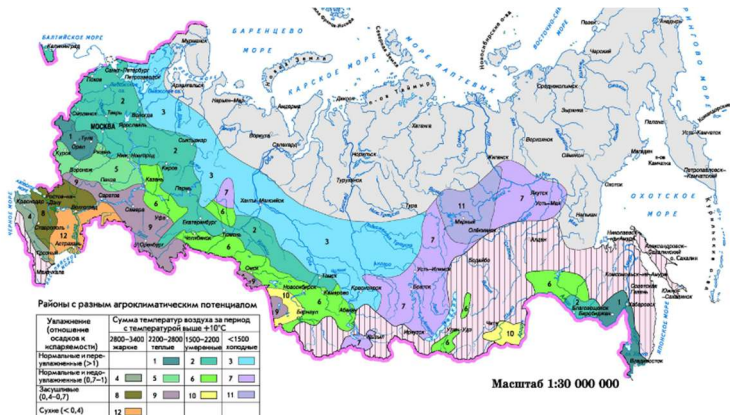


Рис.5.2. Агроклиматическое районирование по сумме САТ

Задание 5.1. Для выбранного населенного пункта, используя базы данных из интернета, (<https://meteoinfo.ru/climatcities>) или для выбранного года (<https://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php>, климатический монитор, летопись погоды) по среднемесячным значениям температуры воздуха провести оценку характеристик тепловых ресурсов: даты начала, завершения и продолжительности вегетационного периода; сумму активных температур воздуха. Сделать выводы.

Рекомендации. Задание выполняется по аналогии задания 2.1 и рисунка 2.1. По графику годового хода температуры воздуха определяем даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха весной и осенью через температуру +5°C и +10°C, с помощью горизонтальных линий, пересекающие график годового хода температуры через соответствующие значения температуры воздуха. Для определения продолжительности вегетационного периода подсчитываем количество дней с температурой воздуха выше +5°C.

Сумма активных температур – это сумма среднесуточных температур воздуха выше +10°C. При использовании графического метода САТ это сумма произведений среднемесячной температуры воздуха на количество дней в месяце с учетом результатов произведений средней температуры воздуха за неполные месяцы и количества дней за эти месяцы весной и осенью (ф.5.1) [2, 17].

$$\text{CAT} = \sum \left[\left(\frac{t_{10} + t_n}{2} \cdot n \right) + t_i n_i + \dots + t_j n_j + \left(\frac{t_m + t_{10}}{2} \cdot m \right) \right] [^\circ\text{C}], \quad (5.1)$$

где t_{10} – температура воздуха на дату перехода весной и осенью, равная $+10^\circ\text{C}$, t_n , t_m – температура воздуха на последний день весеннего неполного месяца и первого дня неполного осеннего месяца, соответственно, n – число дней весеннего месяца от даты перехода до последнего дня, m – число дней от первого дня осеннего месяца до даты перехода, $t_{i,j}$ и $n_{i,j}$ – средняя месячная температура и количество дней полного месяца. Полученное значение CAT сравнить с данными, приведенными на рисунке 5.2.

Задание 5.2. Для исследуемого населенного пункта или года, из задания 5.1., оценить характер режима увлажнения на основе расчета в EXCEL или с помощью кода Python гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК). Сделать выводы.

Рекомендации. ГТК Селянинова рассчитывается, как отношение сумм осадков за период активной вегетации с температурой воздуха выше $+10^\circ\text{C}$ (ΣP) к CAT, рассчитываемый по формуле 5.2:

$$\text{ГТК} = \frac{\Sigma P}{0,1 \cdot \text{CAT}}, \quad (5.2)$$

Сумма осадков определяется с учетом значений осадков и за неполные месяцы. Сумма осадков за неполные месяцы рассчитываем методом пересчета месячной суммы осадков на суточное значение. Полученные значения суммируем по количеству не полных дней весной и осенью, а также на осадки за полные месяцы. ГТК Селянинова используется для оценки режима увлажнений и его значения приведены в таблице 5.2 [17].

Таблица 5.2. Условия увлажнения в соответствии с ГТК

ГТК	Зона увлажнения
Больше 1,6	Избыточно влажная
1,6 – 1,3	Влажная
1,3 – 1,0	Слабо засушливая
1,0 – 0,7	Засушливая
0,7 – 0,4	Очень засушливая
Менее 0,4	Сухая

Расчёт CAT и ГТК по суточным данным удобно выполнить в Python: `df['sat'] = df['t'].where(df['t'] > 10, 0)` — сумма по периоду даёт $\Sigma T > 10$; ΣP берётся за тот же период.

6. Медицинская климатология

Климатология медицинская (биоклиматология человека) – прикладной пограничный раздел климатологии и медицины, изучающий влияние климатопогодных факторов на организм человека в условиях трудовой деятельности и отдыха, методы использования этих факторов в лечебно-профилактических целях, т. е. особенности климата и погоды с точки зрения их влияния на организм человека [34].

В медицинской климатологии выделяют следующие разделы:

- 1) *медицинскую географию*, изучающую закономерности распространения болезней в различных географических зонах земного шара;
- 2) *климатофизиологию*, изучающую отклик живого организма на действие факторов земной* и космической** погоды, как при стабильном состоянии окружающей среды, так и в меняющихся условиях, связанных со сменой климатических районов (акклиматизация), сменой сезонов, фаз цикла солнечной активности, климатических изменениях.

* Термин «земная погода» относится к определению: «Погода — это состояние атмосферы в данном месте, в данное время» (Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения, РД 52.27.724 – 2019).

** Термин «космическая погода» относится к определению: «Космическая погода: электромагнитное излучение Солнца, которое может вызвать поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и вызывать нарушения в работе объектов энергетики и связи» (ГОСТ Р 22.0.03-2020, статья 85)

- 3) *климатопатологию*, изучающую различные патологические реакции организма на вариации природных факторов;
- 4) *климатопрофилактику и климатотерапию*, изучающие применение климатических факторов в профилактических и лечебных целях – санаторное-курортное дело.

6.1. Методы медицинской климатологии

Комплексные методы климатологии позволяют учитывать *погоду суток и погоду момента*, которые дают более точное представление об изменении метеорологических факторов в течение суток и имеют значение для проведения климатических процедур. *Многолетний режим погоды* дает представление о климате районов и его выражают в виде диаграмм структур климата в погодах. На них основана классификация погод Федорова-Чубукова, широко используемая в медицинских целях [34].

Отдельные классы погоды характеризуются различным влиянием на живой организм, в частности, на организм человека (благоприятное, относительно благоприятное, неблагоприятное для климатотерапии). Для оценки погоды используется ряд дополнительных критериев:

1) степень контрастности изменения состояния земной и космической погоды двух соседних суток, так же, как внутрисуточная дисперсия погодных факторов;

2) временной ход погодных факторов на протяжении нескольких дней;

3) отклонение погодных факторов от среднесезонных значений (под «сезоном» в данном случае понимается заранее заданный промежуток времени, как-то: календарный сезон или сезон, определяемый длительностью фазы цикла солнечной активности).

Изучается также влияние на организм человека типов климата (морской, континентальный, горный, полярный) и специфических микроклиматических особенностей города, производственных помещений и т. д.

Природные факторы, учет которых значим в медицинской климатологии.

Окружающая среда комплексно воздействует на живой объект, находящийся на поверхности Земли.

Факторы природной среды, способные вызвать изменения в живом объекте:

- 1) вариации солнечной активности;
- 2) вариации характеристик межпланетного и околоземного пространства;
- 3) вариации характеристик геомагнитного поля;
- 4) вариации характеристик электрического поля атмосферы;
- 5) вариации характеристик метеорологических полей.

Все эти факторы взаимодействуют между собой, поэтому могут влиять на живой объект как непосредственно, так и опосредованно – друг через друга. Вместе они образуют комплекс природных явлений, действующих на живой объект. Действие отдельных факторов трудно выделить из общего комплекса. Однако, можно предположить наличие некоего устойчивого состояния природной среды, стабилизировавшегося в каком-либо сезоне (как в календарном сезоне, так и в определенной фазе солнечного цикла), к которому живой организм успевает адаптироваться на протяжении указанного сезона. В случае формирования такого состояния погоды, которое можно назвать «сезонной нормой», определяемой среднесезонным значением каждого из природных параметров, возможно выделить отдельные факторы, от этой нормы отклонившиеся в определенные дни. В случае, если подобные вариации конкретных природных характеристик совпадут с конкретными изменениями состояния человеческого организма, можно предположить ответственность указанных природных факторов за формирование условий, вызвавших определенные изменения в состоянии здоровья человека. Следует отметить возможность чередования упомянутых природных факторов в различные сезоны – «взаимозаменяемость» действующих начал, способных спровоцировать изменения в живом организме.

В целом, связь живого организма со сложной структурой окружающей его среды, как и способы изучения отклика живого объекта на вариации природной среды, можно проиллюстрировать следующей схемой (рис.6.1).

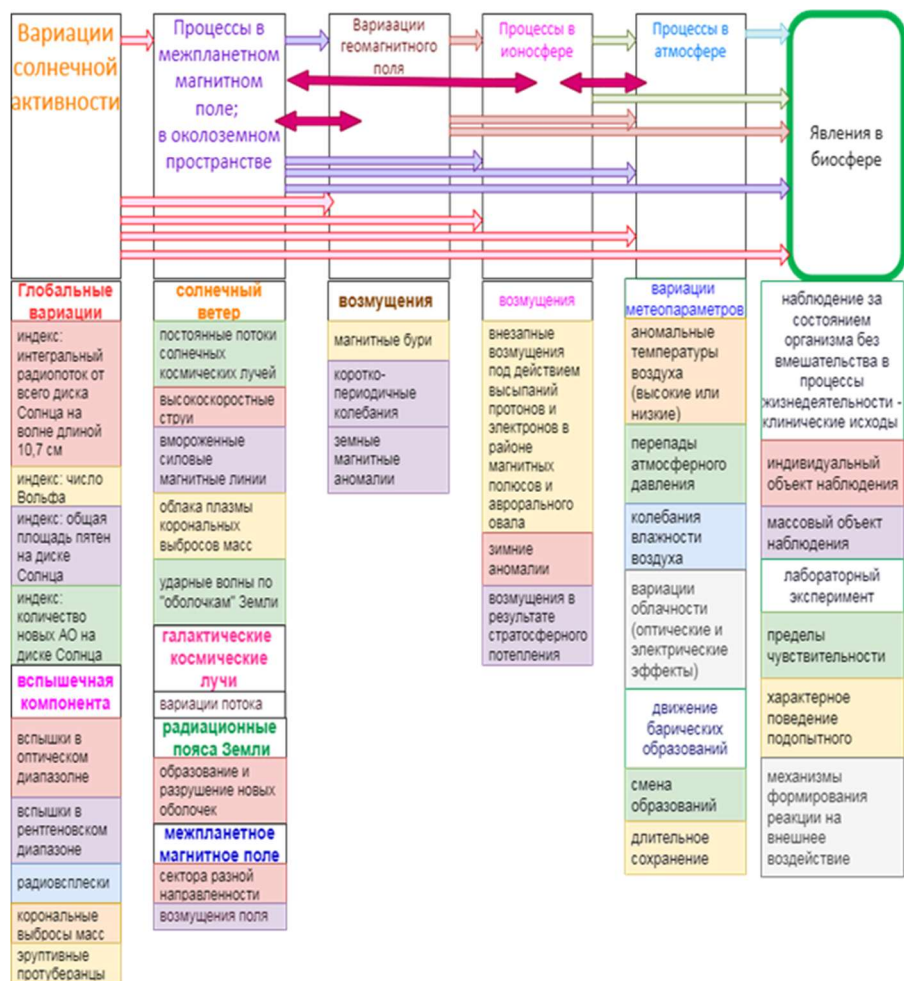


Рис.6.1. Система связей в биометеорологии

Способы изучения влияния природной среды на организм человека:

Подробно способы изучения отклика живого объекта на вариации природной среды описаны ниже (табл.6.1).

Таблица 6.1. Отклик живого объекта на вариации природной среды

Явления в биосфере	Отклик и оценка
<i>Наблюдение за состоянием организма без вмешательства в процессы жизнедеятельности – клинические исходы:</i>	
индивидуальный объект наблюдения	– Регистрация количества дорожно-транспортных происшествий;
массовый объект наблюдения	<ul style="list-style-type: none"> – Регистрация ошибок в работе диспетчеров; – Регистрация количества вызовов скорой помощи; – Регистрация количества ухудшений различных заболеваний; – Регистрация изменения состояния больных конкретными заболеваниями; – Регистрация изменений конкретных параметров состояния организма (здоровых и больных людей)
<i>Лабораторный эксперимент:</i>	
пределы чувствительности	– Предел чувствительности к воздействию электромагнитным полем в целом;
характерное поведение подопытного	<ul style="list-style-type: none"> – Изменение скорости психологической реакции; – Изменение порогов болевой чувствительности;
механизм формирования реакции на внешнее воздействие	<ul style="list-style-type: none"> – Характерные параметры живого организма, природа которых позволяет предположить физическую природу отклика на внешнее воздействие; – Среда организма, в которых возможные физические процессы отклика; – Последовательность выявленных процессов

В Таблицах 6.2 и 6.3 приведена информация о возможном характере реакции человеческого организма на действующий стимул [23].

Таблица 6.2. Энергетические характеристики раздражающего стимула, действующего на человека и 3-фазная реакция на него

Фаза	Реакция организма	Свойство организма	Интенсивность стимула [Эрг/сек·см]		
			min	optimum	max
I	Превентивное торможение	Индифферентность	10^{-10}	$5 \cdot 10^{-10}$	10^{-7}
II	Возбуждение	Чувствительность	10^{-9}	10^{-4}	1
III	Запредельное торможение	Раздражимость	1	10^2	10^5

- индифферентность – организм не отвечает адекватно на действие стимула. Нет адаптации к воздействию фактору;
- чувствительность – способность организма воспринимать адекватно сигналы о наличии или отсутствии внешних раздражителей. Является наиболее совершенным механизмом ориентации живых организмов в окружающей среде. Сигнал, несущий информацию, вызывает только перераспределение энергии в самой системе, что запускает адаптационные процессы. Природа стимулов может быть любой;
- раздражимость – способность биологической структуры реагировать на внешнее воздействие. Является закономерным следствием обмена веществ и обмена энергией. Энергетические и материальные факторы внешней среды участвуют своей энергией или веществом в жизненных процессах непосредственно. Нарушается спокойное течение жизненных процессов.

Таблица 6.3 Характер ответа организма человека на действующий стимул

Свойства организма	Характер взаимодействия организма со стимулом
Индифферентность	Пассивный
Чувствительность	Информационный
Раздражимость	Энергетический

Следует отметить, что большинство природных факторов (и, в особенности, геомагнитные возмущения) действуют в области «превентивного торможения» организма человека в ответ на действующий стимул [3]. Адаптационные механизмы не включаются, что приводит к функциональным нарушениям работы внутренних систем организма.

6.2. Возможные реакции организма человека на внешние стимулы

1. Реакция организма человека на электромагнитное воздействие.

Различные исследователи публикуют разнообразные схемы механизмов реакции живого организма, и в частности, организма человека, на электромагнитный стимул. Это говорит о том, что исследования в этой области ведутся во всем мире активно, и найденные схемы отображают многообразие таких механизмов. Приводим основные идеи, опубликованные в разные годы разными исследователями. Начать нужно со сравнения величин магнитной индукции земного происхождения и магнитной индукции в человеческом организме [3], показанном в Таблице 6.4.

Происхождение полей магнитной индукции в организме человека:

- 1) индуцируются током, возникающим в процессе электрической активности клеточных мембран (нервной и мышечной тканей);
- 2) индуцируются мельчайшими ферромагнитными частицами, любым образом попавшими в организм;
- 3) индуцируются неоднородной магнитной восприимчивостью разных органов и тканей (наложенное поле).

Таблица 6.4. Сравнение величин магнитной индукции земного происхождения и магнитной индукции в человеческом организме

Магнитные поля земного происхождения (величина магнитной индукции, Тл)	Магнитные поля организма человека (величина магнитной индукции, Тл)
Геомагнитное поле 10^{-4}	Поля ферромагнитных частиц $10^{-9} - 10^{-11}$
Городской «шум» 10^{-7}	Поля мышечной ткани сердца $10^{-10} - 10^{-12}$
Геомагнитный «шум» $10^{-10} - 10^{-11}$	Поля мозга $10^{-11} - 10^{-12}$
	Вызванные ответы мозга $10^{-12} - 10^{-13}$

Сравнение предельного порога чувствительности человека (в расчете на 1 клетку организма) к магнитной составляющей электромагнитного поля с величинами возмущения геомагнитного поля показано в Таблице 6.5

Таблица 6.5. Сравнение предельного порога чувствительности человека к магнитной составляющей электромагнитного поля с величинами возмущения геомагнитного поля [3]

Потоки	Предельный порог чувствительности человека	Возмущения геомагнитного поля
Плотность потока	10^{-12} эрг/см ³	10^{-7} эрг/см ³
Мощность потока	10^{-9} эрг/сек·см ²	10^{-9} эрг/сек·см ²

Равенство величин предельного порога чувствительности человека (в расчете на 1 клетку организма) и мощности потока обычного возмущения (не бури) геомагнитного поля приводит к гипотезе: «Фоновое геомагнитное поле – фактор среды, который в процессе эволюции определил формирование порога чувствительности организма на нижней границе максимальных флуктуаций мощности потока магнитной индукции. Возмущения же геомагнитного поля в момент магнитной бури могут достигать ($10^{-4} \div 10^{-7}$) эрг/см² в зависимости от силы и характера бури» [3].

Кроме того, выводы относительно особенности биологической активности геомагнитного поля необходимо корректировать с учетом действия временного фактора:

- для одинакового порогового эффекта в нервной сигнализации (электрические сигналы, проходящие по нервным волокнам) можно воздействовать на живые структуры двумя способами:
 - сильным короткодействующим стимулом,
 - слабым долгодействующим стимулом.
- во время слабых магнитосферных бурь возможно кратковременное превышение порога чувствительности человеческого организма потоком магнитной индукции возмущенного геомагнитного поля;
- во время сильных бурь возмущение может держаться часами при величине потока, превышающем порог чувствительности человеческого организма; Следует учесть и фактор неожиданности в случае магнитосферных бурь с внезапным началом [3],

Реакция отдельных элементов организма человека на вариации геомагнитного поля:

- 1) центральная и вегетативная нервные системы:
 - a. Торможение процессов в центральной нервной системе,
 - b. Замедление рефлексов (всех видов),
 - c. Нарушение памяти,
- 2) изменение регуляции процессов.
 - a. Изменяется электрический потенциал кожи:
 - i. Увеличивается величина потенциала,

- ii. Появляется асимметрия распределения потенциала по коже.
- 3) кровь:
- a. Изменяется количество лейкоцитов,
 - b. Снижается активность фибринолиза (увеличивается вероятность тромбообразования) – пожилые люди,
 - c. В период магнитосферной бури у молодых (19-22 года) здоровых людей замедляется свертываемость крови, растёт СОЭ, активность фибринолиза растёт,
 - d. При низком и среднем уровне геомагнитно активности изменение показателей крови варьирует в соответствии глобальным вариациям геомагнитного поля,
 - e. При очень резко увеличении активности (планетарный индекс геомагнитного возмущения Ap увеличивается больше 100 за (1- 2) дня – может наблюдаться снижение количества эритроцитов и гемоглобина.

В аномальных районах Курской Магнитной Аномалии зарегистрированы заболеваний людей [29]:

- сердечно-сосудистой системы,
- гипертонией,
- ревматизмом,
- нервно-психическими болезнями,
- экземы.

Превышение количества указанных заболеваний – (120 - 140) % относительно районов с нормальным магнитным полем на той же широте. Достоверность результатов (95 – 99) % при сравнении количества заболеваний между районами Курской области с нормальным и аномальным магнитным полем [3, 29].

Магнитное поле Земли – не единственный источник электромагнитных возмущений, воздействующих на живой организм. Не следует забывать о вариациях электрического поля атмосферы (ЭПА), возмущениях в волноводном канале земля-ионосфера, и, конечно, о главном источнике – электромагнитном излучении Солнца, оказывающем воздействие на все оболочки нашей планеты (ионосферу, магнитосферу и даже нейтральную атмосферу), а также в радиодиапазоне, в котором атмосфера наиболее прозрачна, достигающем поверхности Земли практически без ослаблений за 8,32 минуты.

Одним из основных агентов, переносящих сигналы от факторов воздействия на живой объект, предполагается считать коротковолновое излучение (рентгеновский и ультрафиолетовый диапазоны электромагнитного спектра).

Эффект воздействия Солнца посредством электромагнитных полей на живое, возможно, существует по причине близости их частот (или гармоник этих частот) к основным частотам колебаний функций организма [14, 24]. Аргументом в поддержку этого утверждения может послужить сравнение основных частот резонанса Шумана, возникающего в волноводном канале земля-ионосфера

при отражении грозových электромагнитных импульсов от верхней границы этого канала, с частотами мозгового излучения человека. В Таблице 6.6 приведены частоты мозгового излучения человека, полученные при обработке электроэнцефалограммы [39] и резонанса Шумана.

Таблица 6.6. Сравнение частот мозгового излучения человека и частот резонанса Шумана

Частоты мозгового излучения человека	Частоты резонанса Шумана
α -ритм: 8-13 Гц	Первая гармоника: 7,83 Гц
β -ритм: 14-30 Гц	Вторая гармоника: 14,1 Гц
	Третья гармоника: 20,3 Гц

- α -ритм, наиболее выражен в затылочных частях коры головного мозга. Можно регистрировать и от других областей коры, в частности, от теменной доли, где локализована сенсомоторная кора (роландический ритм), регистрируется у взрослого человека в состоянии покоя при отсутствии внешних раздражений;
- β -ритм, присущ состоянию активного бодрствования.

Возможные механизмы действия геомагнитного поля на живой организм [14, 18, 22 -24, 33]:

- 1) показано, что живой организм обладает способностью реакции на возмущение магнитного поля, так как содержит магнетит органического происхождения:
 - a) у голубя – в передней части черепа,
 - b) у пчелы – в брюшной полости,
 - c) у человека – в надпочечниках и коре головного мозга.
 - d) ферромагнетики найдены в головном мозге дельфинов.
- 2) силы электромагнитной природы могут образовывать свободные радикалы в водных растворах, инициируя окислительные реакции;
- 3) медленные нейтроны с низкой энергией (вторичные частицы, образовавшиеся в ионосфере под действием космического излучения, могут инициировать ионизацию нейтральной атмосферы, а также проникать до поверхности Земли при достаточной энергии) способны разрушать химические связи и ионизировать среду;
- 4) вода под воздействием электромагнитного поля меняет показатели преломления (не зависит даже от чистоты воды);
- 5) вода, находящаяся в каждой клетке, чувствительна к магнитным и электрическим полям, перестраивает свою структуру под их действием. Такие фазовые переходы не требуют больших энергетических затрат;
- 6) проницаемость клеточных мембран изменяется под действием вариаций

электромагнитного поля на частотах 0.2 – 100 кГц (мембраны клеток мозга, кровяных телец, сердца, сосудов). В патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний важно нарушение тонуса и проницаемости стенки сосуда с последующими его морфологическими изменениями;

- 7) воздействие на магнитные поля организма;
- 8) высказано предположение, что эритроциты в крови больных сердечно-сосудистыми заболеваниями имеют аномальные магнитные свойства: их способность намагничиваться приводит к изменению вязкости крови, структуры кровотока и нарушению гемодинамики.

Механизмы процессов, вызывающих отклик организма человека на электромагнитное воздействие, описанные разными исследователями:

- 1) солнечная активность влияет на электромагнитное поле Земли. Электрические заряды (электроны и ионы) являются «регулирующими» в проходах клеточных мембран и определяют основные процессы жизнедеятельности клетки. Молекулы тканей организма, и прежде всего, молекулы воды в них, реагируют на изменения внешнего электромагнитного поля, которое ориентирует их в определенных направлениях, нарушая нормальную работу организма человека [38];
- 2) существует мнение, что нервная система является одной из наиболее чувствительных к действию электромагнитного излучения (ЭМИ). Вместе с тем известно, что при воздействии низкоинтенсивными ЭМИ крайне высоких частот (КВЧ) биологические эффекты проявляются в областях, непосредственно не связанных с зоной облучения, что и объясняет генерализованный характер изменения нейрогенного компонента. По мнению некоторых авторов, в основе биологического действия ЭМИ КВЧ лежит активация нервных волокон кожи, обладающих тонической активностью – частный случай прямого действия ЭМИ на сосуды [35];
- 3) существует выраженное взаимодействие низкоинтенсивных магнитных и электромагнитных полей человека, с одной стороны, и слабых магнитных полей, вызванных геомагнитными колебаниями, с другой стороны. Обсуждается механизм воздействия слабых полей, вызванных колебаниями солнечной активности, на некоторые параметры, характеризующие или обнаруживаемые у здорового человека, такими параметрами являются сопротивление кожи; мышечные сокращения; и соотношение грудного дыхания к диафрагмальному дыханию [39];
- 4) переменное магнитное поле на низких частотах обладает высокой проникающей способностью. Получается, что этот экологический фактор непосредственно действует на клетки головного мозга, влияя на его функционирование (психотропный агент). Но аналогичное прямое действие имеет место и на развивающийся эмбрион [6];
- 5) статические электрические поля индуцируют поверхностный электрический заряд, и когда напряженность поля достаточно высока, индуциро-

ванный заряд может быть воспринят благодаря его взаимодействию с волосами на теле. Если заряд достигает достаточно высокого уровня, может произойти коронный разряд. Эти результаты были стандартизированы Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в монографии № 232 “Критерии здоровья окружающей среды в статических полях”, в документе которой международная группа экспертов сообщила, что неблагоприятные острые эффекты статических электрических полей единственно связаны с непосредственным восприятием и дискомфортом от микро-разрядов [Всемирная организация здравоохранения, другие (2006) критерии зависимости здоровья от окружающей среды, ВОЗ, Женева] [40];

- 6) согласно документу «Всемирная организация здравоохранения, другие (2006) критерии зависимости здоровья от окружающей среды», оценки экспериментальных данных позволили классифицировать физический механизм взаимодействия статических магнитных полей с биологическими системами на три класса: (i) взаимодействие с ионным током проводимости; (ii) магнитомеханические эффекты; (iii) влияние на электронные спиновые состояния промежуточных продуктов химических реакций [40];
- 7) поскольку генерация электромагнитных полей является постоянной и необходимой частью жизнедеятельности биосистемы, правильнее говорить о значении для состояния организма человека взаимодействия внутренних и внешних электромагнитных полей. Исследований свидетельствуют о том, что жизнь не может протекать нормально без постоянной опережающей подстройки внутренних электрических процессов к изменениям внешних геомагнитных полей. Один из важных механизмов, синхронизирующих внутренние процессы человеческого организма с колебаниями природных электромагнитных полей – механизм сопряжения внутренних биоритмов, психофизиологических, метаболических и других гомеостатических процессов организма с внешними ритмами геомагнитного поля. [19, 30-32].

В рамках *Медицинской географии* проведены исследования эффектов влияния геомагнитного поля на разных географических широтах. Удалось установить, что для высоких широт:

- 1) первично эффекты мощных флуктуаций геомагнитных полей и прямого воздействия частиц солнечного ветра в авроральной зоне планеты возникают практически во всех клетках человеческого тела, вызывая на определенных этапах снижения защитных механизмов молекулярно-мембранные дефекты, называемые некоторыми учеными «окислительным стрессом». То есть адаптивные и дизадаптивные процессы начинаются в этом варианте с молекулярно-клеточного уровня организма. Свободно-радикальные и недоокисленные продукты, возникающие при этом, ста-

- новятся одним из основных патогенетических факторов каскада нарушений функций клеток печени, клеток крови, иммунной системы, эндокринных желез, сосудов, сердца [19, 30-32];
- 2) начинает снижаться функциональная активность полушарий мозга, регулирующих с участием гипоталамуса, ретикулярной формации и эндокринной системы опережающую подстройку гомеостатических систем к изменяющимся условиям среды. Снижение этого регуляторного действия вызывает –
 - а) болезненное реагирование организма человека на резкие перемены погодных и геофизических показателей (метеопатии);
 - б) приводит к рассогласованию внутренних ритмов с ритмами окружающей среды (десинхроноз);
 - в) нарастающее эндогенно обусловленное психоэмоциональное напряжение завершает негативную картину дистресса на Севере [30-32].
 - 3) в вертикальном положении человека в период геофизических возмущений по данным реографии было отмечено увеличение кровенаполнения полушарий головного мозга и нижних конечностей во время систолы (систолический реографический индекс) по сравнению с показателями систолического реографического индекса в горизонтальном положении того же человека. Значительное повышение напряженности электрического поля Земли в периоды магнитных бурь в высоких широтах направленно увеличивает напряженность электромагнитного поля человека, связанного прежде всего с возникновением сердечного потенциала действия. Для холодных климатических районов в период магнитных бурь эффективность электромагнитного насоса сердца, зафиксированная в виде достоверного увеличения показателей систолического реографического индекса полушарий головного мозга и нижних конечностей, скорее всего, резко возрастает за счет синхронизации внутреннего пульсирующего электромагнитного поля с меняющимся электрическим потенциалом высокой мощности пульсирующего геомагнитного поля. Эта эффективность, возможно, и является причиной эйфории и возбуждения у жителей высоких широт в начальный период магнитной бури. Последующее повышение артериального давления у многих северян также говорит о повышении эффективности деятельности сердца как электромагнитного насоса. В повышение артериального давления может вносить свой вклад вазоконстрикторное действие электромагнитных полей, которое также отмечается, особенно при низких температурах [30-32];
 - 4) высокая интенсивность функционирования сердечно-сосудистой системы в периоды частых геомагнитных возмущений ведет к истощению резервных систем. К этому же присоединяются извращения реакций нейроэндокринной системы, метаболизма в условиях хронического северного стресса [30-32];
 - 5) есть данные о снижении артериального давления до нормы у больного

артериальной гипертензией после полумесячного пребывания в биотроне, ограждающем человека от перепадов атмосферного давления, изменений температуры и магнитных бурь.

II. Реакция организма человека на температурное воздействие.

Связь между температурой воздуха и смертностью объясняется снижением выработки потовых желез, снижением кожного кровотока, меньшим увеличением сердечного выброса и меньшим перераспределением кровотока из почечного и внутренностного кровообращения, что, следовательно, может усугубить повреждение терморегуляции. Температура окружающей среды может способствовать смертности от сердечно-сосудистых заболеваний за счет повышения частоты сердечных сокращений, вязкости крови и давления [41, 42].

При действии на организм чрезмерно высоких и низких температур может наступить перегревание и переохлаждение организма, т. е. нарушение функций регуляции тепла. Длительное воздействие низких температур вызывает повышение интенсивности обмена веществ и сужение кожных капилляров, что проявляется в снижении температуры кожи.

При высоких температурах воздуха происходит учащение пульса и умеренное снижение давления крови.

Реакции на перегрев.

Болезни, вызванные тепловым стрессом, возникают, когда организм не в состоянии выделять метаболическое тепло в атмосферу со скоростью, достаточной для предотвращения перегруженности физиологических механизмов регулирования тепла. Тепловой удар, характеризующийся повышением температуры тела выше 40°C (104°F) и дисфункцией центральной нервной системы [43]

Следует подчеркнуть, что повышение интенсивности обмена веществ происходит не только при пониженных (ниже 15°C), но и при повышенных температурах (более 30°C), что связано с необходимостью компенсации перегрева за счет усиленного потоотделения.

Если указанные процессы недостаточны, то для сохранения гомотермии тела подключается система потоотделения, интенсифицируется теплоотдача испарением пота. Этот процесс зависит от разности давлений паров воды на поверхности кожи и воздуха, от количества потовых желез, функционирующих при потоотделении.

Суть физиологического приспособления приезжих из холодного климата в жаркий климат прежде всего заключается в улучшении терморегуляции через ускорение потоотделения и возрастание теплоотдачи путем испарения с поверхности кожи. При этом возможная потеря воды 1 л в 1 час будет эквивалентна отдаче тепла примерно 250 кДж/час с поверхности тела.

Реакции на охлаждение. Для сохранения гомотермии тела организм стремится увеличить количество вырабатываемого тепла и уменьшить теплоотдачу составляющих расхода за счет конвекции и излучения. Основной обмен веществ

в холодных климатах, по сравнению с его величиной в тропических условиях, возрастает (у эскимосов до 30%). Для жизни в холодном климате у человека и животных действует добавочная «изоляция тела», предохраняющая утечку тепла за счет более толстого подкожного слоя жира. Кроме того, возможна дополнительная искусственная теплоизоляция одеждой. На холоде количество вырабатываемого организмом тепла может увеличиваться за счет дрожи. При дрожи вырабатывается больше тепла, чем в состоянии покоя. Дрожь возникает вследствие рефлекторной стимуляции регулирующего центра мозга (находящегося в гипоталамусе) на уменьшение температуры кожи.

III. Реакция организма человека на воздействие изменений атмосферного давления.

- 1) барометрическое давление и его колебания оказывают влияние на организм двумя путями:
 - a. Способствуют изменению насыщения крови кислородом;
 - b. Механически влияют на рецепторы тела (плевры, брюшины), а также сосуды.
- 2) Колебания барометрического давления отражаются на содержании эритроцитов, уровне артериального давления и частоте пульса. Сердечно-сосудистая система в огромной мере определяет жизненные функции организма, а сердечно-сосудистые заболевания являются наиболее распространенной причиной смерти в современном обществе.
- 3) При исследовании зависимости между сердечно-сосудистыми заболеваниями и изменениями давления учитывается синоптическая обстановка. Так, обострение гипертонической болезни и учащение приступов стенокардии и случаев нарушений мозгового кровообращения происходит чаще всего в осенний и зимний периоды. Частота вызовов к больным с заболеваниями сердечно-сосудистой системы максимальна при приближении циклонов и ложбин, как, впрочем, и при установлении режима малоградиентного поля высоко давления.
- 4) Погода в значительной степени определяется атмосферным давлением. Когда атмосферное давление снижается, насыщение кислородом также уменьшается. Исследование с участием альпинистов-любителей показало значительные изменения в пульс-оксиметрии, пиковой величине и частоте сердечных сокращений при достижении высоты около 1000 м [44]. Снижение доступности кислорода, например, на земле или имитируемой большой высоте, вызывает физиологические и метаболические изменения для обеспечения надлежащего насыщения тканей кислородом. Эти реакции могут помочь компенсировать гипоксические условия и поддержать процесс акклиматизации [45].

IV. Реакция организма человека на воздействие изменений влажности воздуха.

Влажность воздуха, как биоклиматический фактор, проявляется, главным образом, в трех различных аспектах:

- а) ею в значительной мере определяется величина парциального давления кислорода;
- б) влажность воздуха влияет на режим солнечной радиации;
- с) от нее зависит потеря жидкости в организме

Исследования суммарного влияния метеорологических факторов на тепловое состояние организма человека проводятся путем использования температурных шкал и индексов (эмпирические методы), с помощью конструирования специальных приборов – аналогов тела человека, теоретическим путем, основанным на анализе теплового баланса тела человека.

6.3. Эмпирические методы оценки биоклимата

Биоклиматические индексы в физическом отношении характеризуют особенности тепловой структуры среды и являются косвенным индикатором состояния теплового поля, окружающего человека. В зависимости от сочетания элементов, входящих в биоклиматические индексы, их условно можно разделить:

- 1) на температурно-влажностные,
- 2) температурно-ветровые,
- 3) температурно-влажностно-ветровые и т.д.

Поскольку основной составляющей индексов является температура воздуха, то учет эффекта воздействия относительной влажности, скорости ветра, радиации и т.д. выражается в поправке к температуре наружного воздуха, объективизирующей теплоощущения человеческого организма и состояние оценки комфорта или дискомфорта окружающей среды.

Методика эффективных температур.

В биоклиматических исследованиях чаще всего используется метод *эффективных температур* ($\Delta T = T_{эфф}$) [37]. ΔT учитывают совместное влияние температуры и влажности воздуха или температуры и скорости ветра. Влияние температуры воздуха и влажности можно определить по формуле (6.1):

$$T_{эфф} = t + 1,57e, \quad (6.1)$$

где t – температура воздуха, °C; e – упругость водяного пара, содержащегося в воздухе, ΔPa .

Кроме этой формулы для оценки тепловой чувствительности человека используют и показатель ET – effective temperature (по Анри Миссенарду (Andre Misenard), формула 6.2, показатель разработан в Париже в 20-е годы XX века:

$$ET = 37 - \frac{37-t}{0,68-0,0014f + \frac{1}{1,76+1,4v^{0,75}}} - 0,29 \left(1 - \frac{f}{100}\right) \quad (6.2)$$

где t - температура воздуха, °C; v - скорость ветра, м/с; f - относительная влажность, %. Классификация ET для оценки тепловой чувствительности может быть реализована определенными значениями индекса дискомфорта (ID , от 3 до - 6).

Таблица 6.7. Биоклиматическая классификация ET для оценки тепловой чувствительности и уровня дискомфорта ID

$ET(град)$	ID	Уровень комфорта
$> 30,1$	3	тепловая нагрузка сильная
$24,1...30,0$	2	тепловая нагрузка умеренная
$18,1...24,0$	1	комфортно-тепло
$12,1...18,0$	0	комфорт (умеренное тепло)
$6,1...12,0$	-1	прохладно
$0,1...6,0$	-2	умеренно прохладно
$0,1...-6,0$	-3	очень прохладно
$-6,1...-12,0$	-4	умеренно холодно
$-12,1...-18,0$	-5	холодно
$-18,1...-24,0$	-6	очень холодно

Таблица 6.8. Классификация ET по уровню комфортности

Шкала эффективной температуры
$< -50^{\circ}\text{C}$ – опасно: обморожение открытых участков кожи возможно менее чем через 5 минут
$-38...-50^{\circ}\text{C}$ – предельно осторожно: обморожение открытых участков кожи возможно через 10 -15 минут
$-28...-38^{\circ}\text{C}$ – осторожно: обморожение открытых участков кожи возможно через 20-30 минут
$-28...+27^{\circ}\text{C}$ – опасности для одетого по погоде человека нет
$+27...+32^{\circ}\text{C}$ – осторожно: возможно утомление при длительных активных нагрузках на открытом воздухе
$+32...+40^{\circ}\text{C}$ – предельно осторожно: возможен солнечный удар при длительных активных нагрузках на открытом воздухе
$+40...+55^{\circ}\text{C}$ – опасно: почти наверняка можно получить солнечный удар и перегрев, возможен тепловой удар
$> +55^{\circ}\text{C}$ – предельно опасно: быстрый тепловой или солнечный удар

Кроме $ЭТ$ также вычисляют ощущаемую (кажущуюся) температуру AT – apparent temperature и по формуле 6.3. Формула предложена австралийским ученым Р. Сидманом (Robert Steadman, 1994) на основе физиологической модели теплопереноса тела человека.

$$AT = -2,7 + 1,04 \cdot T + 2,0 \cdot e - 0,65 \times v \quad (6.3)$$

где T - температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), e - парциальное давление водяного пара,

$$e = \left(\frac{f}{100}\right) \cdot 6,1 \cdot e^{\frac{17,27 \cdot t}{237,7+t}}$$

v - скорость ветра на 10 м над уровнем земли [м/с], e в формуле справа – показатель экспоненты.

Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) является комплексным показателем теплоощущения человека, которое складывается под влиянием трех метеорологических факторов: температуры воздуха (t), влажности воздуха (f) и скорости ветра (V). Эффект теплоощущения такой же, как при действии неподвижного, полностью насыщенного влагой воздуха при определенной температуре. А. Б. Айзенштат и Б.А. Айзенштат предложили формулу 6.4 для расчета ЭЭТ.

$$\text{ЭЭТ} = t[1 - 0,003(1 - f)] - 0,385v^{0,59}[(36,6 - t) + 0,622(v - 1)] + [(0,0015v + 0,0008) \cdot (36,6 - t) - 0,0167] \cdot (1 - f) \quad (6.4)$$

В таблице 6.9 приведены категории теплоощущений, комфортности, границы зоны охлаждения и перегрева эквивалентно-эффективной температуры.

Таблица 6.9. Категории теплоощущения в градусах ЭЭТ в условиях умеренных широт

Категории теплоощущения	ЭЭТ для человека	
	Раздетого	Одетого
Комфортно	17,3 – 21,7	16,7 – 20,6
Зона охлаждения	Ниже 17,3	Ниже 16,7
Зона перегрева	Выше 21,7	Выше 20,6

Наибольший интерес представляет зона комфорта.

Радиационно-эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ) учитывает воздействие на человека четырех метеорологических факторов: температуры воздуха, влажности воздуха, скорости ветра и поглощенной радиации. Согласно Е.Г. Головиной и В.И. Русанову РЭЭТ может определяться по эмпирической формуле (6.5) [4, 8]:

$$P\text{ЭЭТ} = 125 \lg \left[\begin{array}{l} 1 + 0,02t + 0,001(t - 8)(f - 60) - \\ -0,045(33 - t)\sqrt{V} + 1,129\beta \end{array} \right] \quad (6.5)$$

где $\beta = \varepsilon \cdot (1 - \alpha)$ – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация в кВт/м²; ε – интенсивность солнечной радиации; $\alpha = 0,28$, $\alpha = 0,11$ – альбеда пигментированной и непигментированной кожи.

Характер воздействия погоды на человека также можно классифицировать по реакции на погодно-метеорологические факторы, возникающей в организме. В зависимости от благоприятного или неблагоприятного действия на организм человека различают погоду от нулевого балла (абсолютно комфортная погода) до пятибалльной (чрезвычайно дискомфортная). Комфортный тип погоды может составлять от 4 до 36 %, а неблагоприятный – от 32 до 48 % количества дней в году.

Задание 6.1. Используя среднемесячные климатические данные (meteo.ru, rp5.ru, pogodaiklimat.ru) для выбранного пункта наблюдения рассчитать эффективную температуру различными методами и эквивалентно-эффективную температуру для любого выбранного года. Построить график годового хода рассчитанных значений и выделить соответствующие зоны теплового ощущения (таблица 6.10). Построить графики годового хода ET по А. Миссенарду, AT по Р. Стидману и реальной температуры воздуха. Определить, в какое время года условные температуры каждого из указанных авторов наиболее близко соответствуют реальным значениям температуры воздуха.

Рекомендации. Для расчета эффективной и эквивалентно-эффективной температур необходимо воспользоваться ф.6.1, 6.2, 6.3 и 6.4. Градации тепловых ощущений приведены в тексте.

Таблица 6.10. Градации тепловой нагрузки для ф.6.1.

Теплый сезон						
+ЭТ гр.С	Более 30	30-24	24-18	18-12	12-6	9-6
Теплоощущение	Очень жарко	Жарко	Тепло	Умеренно тепло	Прохладно	Умеренно
Нагрузка	Сильная	Умеренная	Комфортно	Комфортно		
Холодный сезон						
-ЭТ гр.С	0-(-12)	-12-(-24)	-24-(30)	Ниже -30		
Теплоощущение	Холодно	Очень холодно	Крайне холодно	Крайне холодно		
Нагрузка	Умеренная	Сильная угроза обмороживания	Очень сильная	Чрезвычайно высокая вероятность замерзания		

Индексы холодного дискомфорта.

Если в эффективных температурах оценки теплового ощущения человека проводятся в основном за счет влажности воздуха, то в индексах холодного сезона эффект теплоощущения и дискомфорта в основном уточняется поправкой

на скорость ветра. С ветром связаны метели, снежные заносы, ухудшение видимости. Из-за возможности обморожения сокращаются периоды работы на открытом воздухе. В этих условиях требуется специальная одежда, эффективное отопление, специализированный режим труда и отдыха. Наиболее часто используемые индексы: ветровой индекс охлаждения Сайпла-Пассела; индексы ветрового сухого и влажного охлаждения Хилла и др.

Ветровой индекс Сайпла-Пассела можно рассчитать по формуле 6.6:

$$H^* = (10,45 + 10V^{0,5} - V)(33 - T_H) \quad (\text{Вт/м}^2), \quad (6.6)$$

Индекс ветрового сухого охлаждения Хилла (ф.6.7)

$$H_C = (0,13 + 0,47V^{0,5})(33,6 - T_H) \quad (\text{Вт/м}^2), \quad (6.7)$$

где T_H – температура внешней среды, V – скорость ветра (м/сек).

Индексы H^* , H_C характеризуют теплопотери единичного открытого участка кожи при температуре кожи $T_K=33^\circ\text{C}$ или при взвешенной температуре тела $T_T = 36,6^\circ\text{C}$ и пропорциональны разности между упомянутыми T_K , T_T и температурой наружного воздуха (T_H).

По индексу H^* , тепловощущение оценивается в Вт/м^2 в час:

- 1) *менее 0,7 – прохладно,*
- 2) *1,2 – очень холодно,*
- 3) *более 3,0 – невыносимый холод.*

По индексу H_C классифицируются так:

- 1) *менее 0,35 – жарко,*
- 2) *0,6–0,9 – комфортно,*
- 3) *более 1,7 – холодно,*
- 4) *более 2,3 вт/м^2 – экстремально холодно.*

Случаи обморожения отмечаются при $H^* > 1,6 \text{ Вт/м}^2$, при H_C более $0,7 \text{ Вт/м}^2$.

Индекс ветрового влажного охлаждения Хилла (ф.6.8).

$$H_W = H_C + (0,085 + 0,102V^{0,3})(61,1 - e)^{0,75} \quad (\text{Вт/м}^2), \quad (6.8)$$

где e – упругость водяного пара.

Индекс H_W характеризует *интенсивность потерь тепла во влажном движущемся потоке воздуха*:

- 1) при отрицательных и при весьма высоких положительных температурах (более 24°C) ветровой поток усиливает состояние дискомфорта;
- 2) при $4,5\text{--}5,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{с}$ погодные условия зимы считаются дискомфортными;
- 3) при значениях выше $8,0 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{с}$ – абсолютно дискомфортными.

Показатель суровости климата Бодмана в условных единицах (ф.6.9)

$$S = (1 - 0,004T)(1 + 0,272V), \quad (6.9)$$

Классификация *суровости зим* выполняется по следующим градациям:

- 1) $< 1,0$ – мягкая,
- 2) $1,0\text{--}2,0$ – мало суровая,

- 3) 2,1–3,0 – умеренно суровая,
- 4) 3,1–4,0 – суровая,
- 5) 4,1–5,0 – очень суровая,
- 6) 5,1–7,0 – жестко суровая
- 7) > 7,0 – крайне суровая.

Задание 6.2. По справочным среднемесячным значениям температуры воздуха, скорости ветра и упругости водяного пара из *Задания 6.1*, рассчитать индексы комфортности холодного сезона (переход температуры воздуха через 0°C). Нарисовать графики сезонного хода, на графиках обозначить уровни комфортности по различным индексам и сделать выводы об уровне комфортности (дискомфортности).

Рекомендации. Для выполнения задания необходимо воспользоваться формулами 6.6 – 6.9.

Показатели патогенности погоды.

В настоящее время специалистами доказаны связь между колебаниями погодных условий и появлением неблагоприятных реакций в организме, вплоть до тяжелых заболеваний и смерти, а также влияние погоды на умственную и физическую работоспособность. Для объяснения процессов влияния метеорологических условий на самочувствие человека ввели такое понятие, как *патогенность погодных условий*.

Уровень патогенного действия погоды, то есть такого действия, которое вызывает нарушение нормального состояния человека устанавливают на основании общего индекса патогенности погоды [12]. Он определяется как сумма составляющих индексов патогенности по показателям (6.10):

$$J = i_t + i_h + i_v + i_{Ap} + i_{At}, \quad (6.10)$$

где J – общий индекс патогенности;

i_t – индекс патогенности температуры воздуха;

i_h – индекс патогенности влажности;

i_v – индекс патогенности скорости ветра;

i_{Ap} – индекс патогенности изменения атмосферного давления;

i_{At} – индекс патогенности изменения температуры воздуха.

Составляющие индексы патогенности рассчитывают по таким формулам:

Индекс патогенности температуры воздуха (6.11, 6.12):

$$i_t = 0,2(18 - t)^2 \quad \text{при } t \leq 18^\circ, \quad (6.11)$$

$$i_t = 0,2(t - 18)^2 \quad \text{при } t \geq 18^\circ, \quad (6.12)$$

где t – средняя суточная температура воздуха в °C.

Индекс патогенности влажности (6.13):

$$i_h = \frac{10 \cdot (h - 70)}{20}, \quad (6.13)$$

где h – средняя суточная относительная влажность воздуха в %.

Индекс патогенности скорости ветра (6.14):

$$i_v = 0,2 \cdot v^2, \quad (6.14)$$

где v – средняя суточная скорость ветра в м/с.

Индекс патогенности изменения атмосферного давления (6.15):

$$i_{\Delta p} = 0,06(\Delta p)^2, \quad (6.15)$$

где Δp – межсуточное изменение среднего суточного атмосферного давления в мм.рт.ст./сут (1 мм рт. ст. \approx 1,333 гПа).

Индекс патогенности изменения температуры воздуха (6.16):

$$i_{\Delta t} = 0,06(\Delta t)^2, \quad (6.16)$$

где Δt – межсуточное изменение среднесуточной температуры воздуха в °С/сут.

Патогенное действие погоды классифицируют по следующей шкале (табл. 6.11).

Степень раздражающего действия погоды устанавливают из соотношения (6.17):

$$R = 0,6 \cdot J, \quad (6.17)$$

где R – степень раздражающего действия погоды; J – общий индекс патогенности.

Таблица 6.11. Шкала патогенности погоды

<i>Значение J</i>	<i>Оценка патогенности погоды</i>
0 – 9,9	Оптимальная
10 – 16	Слабо раздражающая
16,1-18	Умеренно раздражающая
18,1-24	Сильно раздражающая
Больше 24	Острая

Задание 6.3. Используя сведения о текущей погоде за предыдущие 5 дней для любого населенного пункта (meteo.ru, rp5.ru, gismeteo.ru, pogodaiklimat.ru), определить уровень патогенности погоды и ее раздражающее действие на организм человека. Сделать выводы.

Рекомендации. Для выполнения задания выписать метеорологические показатели за 5 дней в табличную форму (табл.6.12).

Используя формулы 6.11 – 6.16 рассчитать соответствующие индексы патогенности. Со 2 по 5 дни рассчитать общий индекс патогенности. Для определения общего индекса патогенности (J) необходимо воспользоваться таблицей 6.13.

Таблица 6.12. Форма для метеорологических показателей

Наименование метеопоказателей	Дни				
	1	2	3	4	5
Температура, °С					
Скорость ветра, м/с					
Влажность воздуха, %					
Атмосферное давление					

Таблица 6.13. Форма для расчета индекса патогенности

Дни	Составляющие индекса патогенности					Общий индекс патогенности погоды, J	Степень раздражающего действия
	Температуры воздуха, i_t	Влажности воздуха, i_h	Скорости ветра, i_v	Изменения температуры воздуха, $i_{\Delta t}$	Изменения атмосферного давления, $i_{\Delta p}$		
1							
2							
3							
4							
5							

7. Микроклиматические изыскания

В условиях неоднородного ландшафта и изрезанного рельефа местности, на которой предполагается проектирование или строительство населенного пункта, строительного объекта, необходимо учитывать микроклиматические особенности. Для получения достаточно полных микроклиматических показателей обычно проводятся микроклиматические исследования в период изыскательских работ.

Данные, полученные в результате короткого периода наблюдений, увязываются с климатическими показателями сетевых метеорологических станций. Микроклиматические исследования позволяют оценить влияние высоты места над уровнем моря, близости водоема, реки, гор, ориентации и крутизны склона, типа и ориентации долины и т.д. на изменение метеорологических величин.

Климат отдельных типов местности называется местным климатом. Он заметно проявляется на фоне общих климатических условий данной физико-географической среды.

7.1. Геотопологическое районирование территорий

В каждом типе местности имеются небольшие участки, на которых под влиянием природных условий могут возникать особые проявления местного

климата. Так, в пойменном типе местности всегда имеются участки, занимаемые лугом, лесом и т.д. На таких участках формируются свои климатические условия.

Климат, создающийся на отдельных участках под влиянием соответствующих природных различий, называется микроклиматом данного участка. Микроклиматические изыскания начинаются с геотопологического районирования территорий. В процессе такого районирования определяют неоднородности подстилающей поверхности, оказывающие влияние на формирование микроклиматического режима метеорологических характеристик. Выделяют следующие типы геотопологических объектов для микроклимата [26]:

- 1) низменная равнина характеризуется малыми абсолютными высотами — не более 100 м. В некоторых случаях низменности имеют отметки высот ниже уровня моря (например, Прикаспийская низменность). В пределах низменностей встречаются также и отдельные возвышения с относительными превышениями не более 30 м. Большая часть территории низменных равнин заболочена;
- 2) равнина характеризуется однородным геологическим строением и абсолютными высотами, не превышающими 200 м (колебания относительных превышений не превосходят 50 м);
- 3) болота и заболоченные участки;
- 4) холмистый рельеф – всхолмленные участки суши с абсолютными высотами до 500 м и относительными превышениями от 10 до 100-150 м;
- 5) предгорья — окраинные части горных стран, характеризующиеся холмистым или горным рельефом (иногда имеют местное название — прилавки, адыры и др.). Абсолютные высоты колеблются от 200 до 1000 м, относительные превышения могут достигать 200 м;
- 6) в горных территориях обычно выделяют мезоклиматические типы местоположений:
 - a) широкие долины (шириной 4—5 км);
 - b) узкие долины;
 - c) перевалы, седловины;
 - d) котловины, впадины;
 - e) склоны;
 - f) плато, вершины;
- 7) побережье водоемов и острова;
- 8) морские прибрежные предгорья представляют собой узкую (3-5 км от уреза воды) полосу морского побережья предгорий горных систем, прижатых к морям и крупным водоемам. Это совершенно особое в климатическом отношении территории. Здесь на климат оказывают сильное влияние и море, и горы;
- 9) низкогорья — низкие горы с абсолютными высотами 500—750 м и очень малыми относительными превышениями (10—50 м). Вследствие

небольших абсолютных высот вертикальные градиенты почти не выражены;

- 10) плоскогорья, нагорья характеризуются абсолютными высотами более 500 м. Это высоко поднятые участки суши с плоскими или волнисто-равнинными формами рельефа. Плоскогорья нередко расчленены долинами, окраины иногда имеют характер гор;
- 11) среднегорный и горный рельеф характеризуется абсолютными высотами более 750 м и относительными превышениями 200—1500 м. Для этого типа макрорельефа характерна направленность горных хребтов, выраженная расчлененность рельефа, четкая вертикальная зональность климатических особенностей;
- 12) межгорные депрессии (впадины, котловины и др.) — любые обширные понижения в горной местности, которые характеризуются абсолютными высотами более 200 м. Относительное превышение окружающих гор над дном депрессии часто составляет 500 м и более, иногда достигает 1000—2000 м.

Рельеф местности может влиять на температуру воздуха. На выпуклых формах рельефа средняя минимальная температура воздуха на 3–6°C выше, а в пониженных на 3–12°C ниже, чем на ровных участках местности.

Близость водоемов оказывает существенное влияние на температурный режим. Существует линейная зависимость изменения абсолютного минимума температуры воздуха от логарифма расстояния от берега, т. е. (7.1)

$$T_{\text{мин}} = K \lg S, \quad (7.1)$$

где S – расстояние от берега, K – коэффициент, характеризующий влияние местных физико-географических условий на изменение абсолютной температуры.

Для удобства использования морфометрических показателей рельефа в целях оценки микроклиматических особенностей строятся крупномасштабные карты, на которых условной штриховкой обозначаются основные формы рельефа, проводится топологическое районирование территорий. Одна из карт может характеризовать ориентировку склонов, другая – углы наклона местности (крутизну склонов), третья – относительное превышение высот и т. д. Все эти элементы рельефа местности оказывают влияние на пространственное и временное распределение метеорологических характеристик.

Задание 7.1. По физико-географической карте Псковской области (рис.7.1.) провести морфометрическое районирование области.

Рекомендации. Предлагаемый рисунок скопировать. На территории Псковской области можно обнаружить 5-6 геотопологических особенностей подстилающей поверхности. Обнаруженные территории обвести границами и обозначить условными обозначениями или цветом. При возможности работу выполнить в ГИС или в другом графическом редакторе.

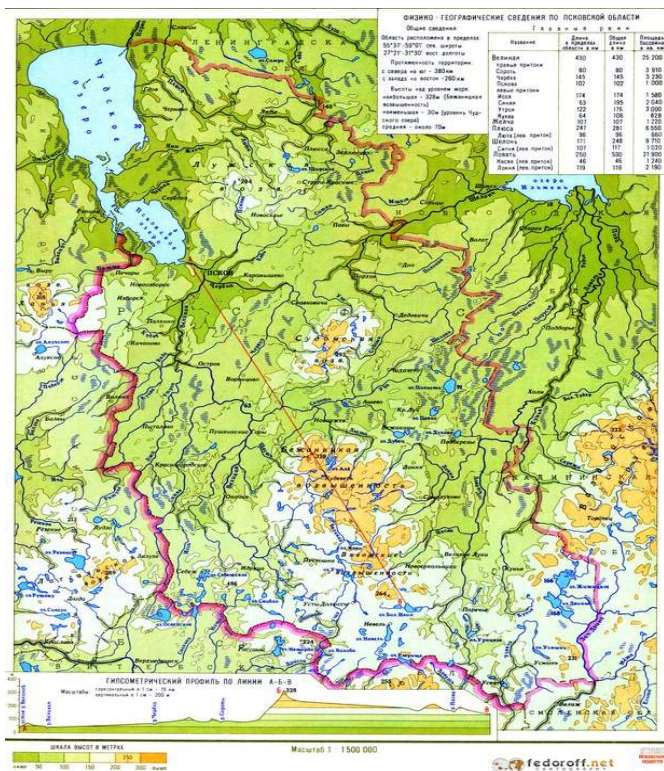


Рис.7.1. Физико-географическая карта Псковской области

7.2. Микроклимат метеорологических характеристик

Определение характера распределения солнечной радиации, поступающей на склоны, представляет собой весьма сложную задачу, но она упрощается, если использовать отношения суточной суммы радиации, приходящей на склоны, к суточной сумме радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. Основной составляющей суммарной радиации и радиационного баланса склонов, как и для горизонтальной поверхности, является прямая солнечная радиация.

Т. А. Голубовой были рассчитаны коэффициенты K_s для приведения средних за месяц суточных сумм прямой радиации с горизонтальной поверхности на склоны северной и южной экспозиции крутизной 5, 10 и 20° и склоны восточной и западной экспозиции крутизной 10 и 20° за теплое полугодие (апрель – сентябрь) в диапазоне 38 – 66° с. ш. [26]. При помощи этих коэффициентов

(табл. 7.1.), можно вычислить средние дневные суммы прямой радиации, поступающей на склоны, в любом конкретном пункте без проведения микроклиматических наблюдений.

Оценка средних суточных сумм суммарной радиации, поступающей на северные и южные склоны крутизной 10 и 20°, проводится на основе коэффициента K_Q , выражающего отношение средней суточной суммы суммарной радиации, приходящей на склон, к соответствующей сумме суммарной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.

Чтобы рассчитать средние суточные (месячные) суммы радиационного баланса склонов используется коэффициент для северных и южных склонов крутизной 10 и 20°, выражающий отношение средней суточной суммы радиационного баланса склона к соответствующей сумме радиационного баланса горизонтальной поверхности [26].

Задание 7.2. Данные месячных сумм прямой радиации на горизонтальную поверхность при среднем состоянии облачности, для выбранной метеорологической станции, пересчитать на южные, северные, западные и восточные склоны крутизной 10°. По полученным результатам и по прямой радиации на горизонтальную поверхность нарисовать кривые сезонного хода. Сделать выводы.

Рекомендации. Месячные суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность при среднем состоянии облачности можно выписать из Научно-прикладного справочника по климату СССР или из *meteo.ru*. Для пересчета следует воспользоваться коэффициентами K_S для соответствующих склонов из табл.7.1.

Изменение характера подстилающей поверхности особенно сильно сказывается на изменении ветрового режима. Даже в условиях равнинной открытой местности две близкие друг к другу станции могут различаться по ветровым показателям в зависимости от защищенности флюгера окружающими объектами. Скорость и направление ветра значительно зависят от местных условий. Установлено, что на вершинах открытых возвышенностей скорость ветра возрастает по сравнению со скоростью ветра на открытых местах на 10 – 80% в зависимости от времени суток и скорости воздушного потока. В нижней части склонов и в непродуваемых долинах скорость ветра на 10 – 40% меньше, чем на открытом месте.

Как уже было отмечено выше, ветер очень сильно меняется под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности. Естественно, что данные наземных метеорологических наблюдений за ветром отличаются большой пестротой в пределах ограниченной территории. Данные о ветре можно распространить лишь на те участки территории, местоположения которых сходны с местоположением метеорологической станции. Если метеорологическая станция расположена на открытом ровном месте, то данные о ветре будут репрезентативны в рассматриваемом районе только для ровных мест, если же станция находится в

долине, то данные можно распространить на долины, причем их ориентировка и ширина должны быть аналогичны той долине, в которой находится станция.

Таблица 7.1. Коэффициенты K_s для пересчета средних за месяц суточных сумм прямой радиации с горизонтальной поверхности на склоны северной и южной экспозиции с различной крутизной.

Северная широта, ...°	Крутизна склона, ...°						Крутизна склона, ...°					
	10						10					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	Северный склон :						Восточный склон					
42	0,89	0,92	0,95	0,95	0,90	0,85	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
46	0,87	0,92	0,94	0,94	0,89	0,82	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
50	0,85	0,91	0,94	0,92	0,88	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
54	0,84	0,90	0,92	0,92	0,88	0,77	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
58	0,82	0,90	0,92	0,91	0,87	0,74	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,01
62	0,80	0,89	0,92	0,90	0,85	0,70	1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01
66	0,77	0,88	0,93	0,91	0,82	0,66	1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01
	Южный склон						Западный склон					
42	1,07	1,02	1,00	1,02	1,04	1,11	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
46	1,08	1,03	1,01	1,02	1,06	1,13	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
50	1,10	1,04	1,02	1,03	1,08	1,15	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
54	1,12	1,05	1,03	1,04	1,09	1,18	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
58	1,14	1,06	1,04	1,05	1,11	1,21	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
62	1,16	1,07	1,05	1,06	1,13	1,24	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00
66	1,18	1,09	1,06	1,07	1,14	1,28	1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01

Учет режима ветра и его изменения в различных формах рельефа имеет большое значение при выявлении наиболее благоприятных участков для размещения сельскохозяйственных культур, для определения условий вентиляции городских территорий, для определения подходящих участков для размещений ВЭУ и т.д.

Изменение режима ветра в различных формах рельефа представлено в табл.7.2. В качестве показателя изменения скорости воздушного потока используется коэффициент K , который представляет собой отношение скорости ветра в данном местоположении к скорости на открытом ровном месте.

Задание 7.3. Данные среднемесячных значений скорости ветра, из ранее выполненных заданий для выбранной метеостанции, пересчитать для устойчивой стратификации:

- для вершины холмов,

- для верхней части наветренных, подветренных и параллельных склонов.

Нарисовать кривые годового хода скорости ветра и сравнить их со скоростями ветра на горизонтальной поверхности. Сделать заключение.

Таблица 7.2. Коэффициенты изменения скорости ветра в различных условиях рельефа по сравнению со скоростью на открытом ровном месте (на высоте 2 м) при неустойчивой (*устойчивой*) стратификации атмосферы [26].

Форма рельефа	Скорость ветра на ровном месте, м/с	
	3-5	6-20
Открытое ровное место	1	1
Открытые возвышения (Холмы)		
Вершины $\Delta h > 50\text{м}$	1,4-1,5 (1,6-1,8)	1,2-1,3 (1,4-1,5)
Наветренные склоны крутизной 3-10°		
Верхняя часть.....	1,2-1,3 (1,4-1,6)	1,1-1,2 (1,4-1,5)
Средняя часть.....	1,0-1,1 (1,0-1,1)	1,0-1,1 (1,1-1,2)
Нижняя часть.....	1,0 (0,8-0,9)	0,9-1,0 (1,0)
Параллельные ветру склоны крутизной 3-10°		
Верхняя часть.....	1,1-1,2 (1,3-1,4)	1,0-1,1 (1,2-1,3)
Средняя часть.....	0,9-1,0 (1,0-1,1)	0,8-0,9 (0,9-1,0)
Нижняя часть.....	0,8-0,9 (0,9-1,0)	0,7-0,8 (0,8-0,9)
Подветренные склоны крутизной 3-10°		
Верхняя часть.....	0,8-0,9 (0,8-0,9)	1,1-1,2 (1,3-1,4)
Средняя часть.....	0,8-0,9 (0,9-1,0)	0,9-1,0 (1,0-1,1)
Нижняя часть.....	0,7-0,8 (0,8-0,9)	0,7-0,8 (0,8-0,9)
Возвышения с плоскими вершинами и пологими склонами		
Вершины, верхние части наветренных и подветренных склонов крутизной 1-3°	1,2-1,4 (1,4-1,6)	1,1-1,3 (1,4-1,5)
Средние и нижние части наветренных и параллельных ветру склонов крутизной 4-10°	1,1-1,2 (1,1-1,2)	1,1-1,2 (1,2-1,3)
Средние и нижние части подветренных склонов крутизной 4-10°.....	0,7-0,9 (0,9-1,0)	0,8-0,9 (0,9-1,0)

Рекомендации. Для пересчета следует воспользоваться табличной формой. Коэффициенты изменения скорости ветра в различных условиях рельефа по сравнению со скоростью на открытом ровном месте (на высоте 2 м) при неустойчивой (*устойчивой*) стратификации атмосферы приведены в табл. 7.2.

Месяц	Скорость ветра м/с (средние месячные)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Местоположение основная (базовая) метеостанция	Бужумбура (783 м)											
Данные м/ст.	1,1	1,4	1,7	1,7	1,9	1,7	2,2	2,2	2,3	2,0	1,7	1,3
Наветренные склоны крутизной 3-10 ⁰												
Верхняя часть (1,3)	1,5	1,9	2,2	2,2	2,5	2,2	2,9	2,9	3,0	2,6	2,2	1,7

8. Учет опасных метеорологических явлений

Гидрометеорологические явления или комплексы гидрометеорологических величин, которые по своему значению, интенсивности, продолжительности, охвату территорий или времени возникновения представляют *угрозу безопасности* людей или могут нанести значительный ущерб различным отраслям экономики, в системе Гидрометеослужбы России называют опасными природными (гидрометеорологическими и гелиогеофизическими) явлениями (ОЯ). Их также называют *опасными явлениями* (ОЯ), или *особо опасными явлениями* (ООЯ), либо *стихийными гидрометеорологическими явлениями* (СГЯ).

Стихийное бедствие - разрушительное природное и (или) природно-антропогенное явление или процесс значительного масштаба, в результате которого может возникнуть или возникла угроза жизни и здоровью людей, произойти разрушение или уничтожение материальных ценностей и компонентов окружающей природной среды [ГОСТ Р].

Управлением Гидрометеослужбы РФ разработан примерный перечень опасных метеорологических явлений:

- 1) очень сильный ветер – ветер при порывах более 25 м/сек или со средней скоростью 20 м/сек и более. На побережье и в горах 35 и 30 м/сек, соответственно;
- 2) ураганный ветер – ветер более 33 м/сек;
- 3) шквал – резкое и кратковременное усиление скорости ветра выше 25 м/сек;
- 4) смерч – сильный воздушный вихрь в виде столба или воронки;
- 5) сильный ливень – ливневой дождь с количеством выпавших осадков более 30 мм за 1 час;
- 6) очень сильный дождь (со снегом, мокрый снег) – осадки более 50 мм за 12 часов;

- 7) очень сильный снег – снег более 20 мм за 12 часов;
- 8) продолжительный сильный дождь – дождь с перерывами (не более часа) более 100 мм за время от 12 до 48 часов;
- 9) крупный град – град диаметром 20 мм и более;
- 10) сильная пыльная (песчаная) буря – перенос пыли (песка) со скоростью ветра не менее 15 м/сек с сокращением дальности видимости до 500 м с продолжительностью не менее 12 ч.
- 11) сильный туман (мгла) – помутнение воздуха, при котором горизонтальная дальность видимости (ГДВ) сокращается до 50 м и менее и длится не менее 12 ч;
- 12) сильное гололедно-изморозевое отложение – диаметр отложения на проводах не менее 20 мм, при сложном отложении и мокрого снега – диаметр отложения не менее 35 мм, при изморози – не менее 35 мм;
- 13) сильный мороз – низкие температуры с ноября по март, когда низкая температура воздуха опускается ниже определенного уровня, принятого в регионе;
- 14) аномально-холодная погода – с октября по март в течение 5 дней и более значение среднесуточной температуры воздуха ниже климатической нормы на 7°C и более;
- 15) сильная жара – с мая по август значение максимальной температуры воздуха достигает установленную для данной территории величину или превышает её;
- 16) заморозки – понижение температуры воздуха или почвы до 0° и ниже на фоне положительных среднесуточных значений в период вегетации сельскохозяйственных растений;
- 17) аномально-жаркая погода – с апреля по сентябрь, когда в течение 5 и более дней среднесуточная температура воздуха выше климатической нормы на 7°C и более градусов;
- 18) чрезвычайная пожарная опасность – показатель пожарной опасности относится к 5-му классу (10000°C по формуле Нестерова).

Опасные метеорологические явления оценивают по продолжительности и по их интенсивности. Продолжительность опасных явлений определяют в часах или в сутках. В климатологии оценивают среднее и наибольшее число дней с ОЯП в месяц и за год, а также среднюю их продолжительность. Для решения практических задач возникает необходимость оценки повторяемости ОЯП с различной продолжительностью. По значениям повторяемости продолжительности опасных явлений погоды можно определить вероятность экстремально продолжительных процессов ОЯП.

При учете режима ОЯП очень часто осуществляют оценку сопутствующих метеорологических характеристик. Например, при продолжительной аномально-жаркой погоде резко возрастают условия по возникновению суховеев и

пыльных бурь. Если проводить совместную оценку ОЯП и сопутствующих метеорологических характеристик, то специалистам предоставляется возможность понять процесс их возникновения и условия борьбы с ними. Для этого осуществляют оценку повторяемости числа дней или продолжительности ОЯП при сопутствующих метеорологических условиях, а также используют методы корреляционно-регрессионного анализа.

Задание 8.1. Используя базу данных *meteo.ru* скопировать данные об опасном метеорологическом явлении в интересующем регионе (в случае, если в ВКР используются сведения об ОЯП, рекомендуется выбрать соответствующие данные), оценить повторяемость ОЯП различной продолжительности и рассчитать вероятность экстремальных значений продолжительности опасных явлений, возможных раз в 50 лет. В качестве исходных данных также можно взять данные из Приложения (табл. Б).

Рекомендации. Для выбора данных об опасном явлении на странице *meteo.ru* следует перейти в раздел «Доступ к данным» и выбрать «Неблагоприятные условия погоды, нанёвшие экономические потери». Скопировать архивный файл в EXCEL и отсортировать данные. Необходимо выбрать ОЯП в рамках региона, где количество ОЯП превышает 30 случаев. Для определения повторяемости продолжительности ОЯП по значению максимальной продолжительности в часах или в сутках разбить на 5 градаций. Далее, как в задании 1.2 для каждой градации определить количество случаев и по этим значениям рассчитать повторяемость ОЯП различной продолжительности. Построить гистограмму.

Для оценки экстремальной продолжительности ОЯП заданного уровня вероятности данные по их продолжительности необходимо переписать в порядке убывания (ранжированный ряд). Расчет интегральных повторяемостей (P) для каждого значения определить по формуле 8.1 (формула Крицкого–Менкеля, применяемая при построении кривых обеспеченности) [5, 10]. Для удобства расчетов следует использовать табличную форму.

$$P = \frac{m-0,25}{n+0,50} \cdot 100\%, \quad (8.1)$$

где n – количество членов ряда, m – порядковый номер члена в ранжированном ряду.

Полученные значения необходимо нанести на специальный бланк с функциональной координатной сеткой, или клетчатку с умеренной асимметрией, где ось абсцисс – это логарифмическая шкала и по ней откладываются значения вероятности. Ось ординат – линейная шкала для нанесения исследуемых значений (продолжительности ОЯП). Далее по полю точек следует провести линию интегральной вероятности. Эту линию можно продлить за пределы исследуемого периода времени и тем самым оценить вероятность наблюдения экстремальных значений продолжительности ОЯП. Клетчатка представлена в Приложении

(рис. А). Для удобства построения интегральной линии клетчатку необходимо распечатать. На рисунке В (Приложение) приводится пример построения клетчатки.

Построение интегральной кривой также можно выполнить в Python с помощью `scipy.stats.probplot()` или вручную на логарифмической шкале средствами `matplotlib`.

Задание 8.2. По значениям количества дней с туманами на различных метеорологических станциях (табл.8.1) определить степень зависимости количества дней с туманами от высоты местности. При наличии связи вывести уравнение регрессионной зависимости между этими значениями.

Таблица 8.1. Среднее число дней с туманом за год во Владивостоке [1]

№	Метеостанции	Высота, м	Число дней с туманом
1	Сад-город	6	12
2	Майхэ	6	35
3	Северо-запад	12	35
4	Владивосток, порт	15	39
5	Эгершельд	15	56
6	Вторая речка	18	53
7	Чуркин	40	55
8	Объяснения	42	32
9	Гамов	76	75
10	Минный городок	98	55
11	Владивосток, гора	111	92
12	Аскольд	171	109

Рекомендации. Задание выполняется с помощью корреляционного анализа.

Для построения корреляционного графика по результатам одновременных наблюдений в 2-х пунктах (A и B) или 2-х элементов строится график, который состоит из точек, расположенных на пересечении прямых, от осей A (x) и B (y). В случае, когда точки будут группироваться определенным образом и через эти точки можно будет провести прямую линию (корреляционная эмпирическая линия), разбивающую группу точек примерно на две равные части, то по характеру линии можно судить о типе связи (положительная зависимость, отрицательная или ее отсутствие).

Линия проводится таким образом, чтобы разделить группу точек поровну и при этом сумма перпендикуляров с обеих сторон, приведенных к линии от

каждой точки, должны быть примерно равными. Пример диаграммы рассеяния приводится на рис.8.1.

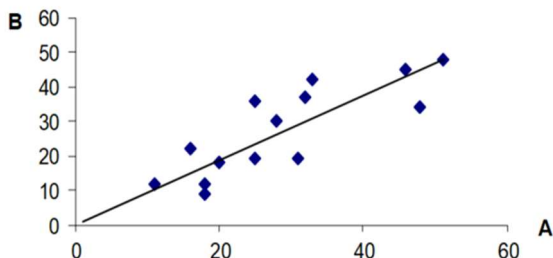


Рис. 8.1. Диаграмма рассеяния с корреляционной зависимостью

Если точки не имеют тенденцию к группировке, значит, связь между ними отсутствует (рис.8.2).

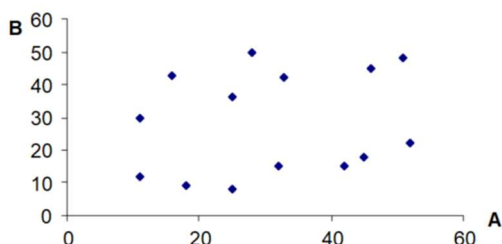


Рис. 8.2. Диаграмма рассеяния без корреляционной зависимости

Если между исследуемыми характеристиками проявляется закономерность по группировке точек в корреляционном поле, то необходимо провести оценку степени тесноты связи с помощью коэффициента корреляции (ф.8.2) [5, 10].

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}, \quad (8.2)$$

где, X_i – члены ряда, Y_i – члены ряда, n – количество наблюдений, σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения (СКО или сигма). Средние квадратические отклонения необходимо рассчитать согласно следующей формулы (8.3).

$$\sigma_x(y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (8.3)$$

Аналогичным путем рассчитываются статистические показатели и для (y).

Коэффициент корреляции может меняться в пределах от -1.0 до +1.0 (чем ближе по абсолютному значению к 1.0, тем теснее связь). При положительной

корреляции наблюдается прямая зависимость, а при отрицательной корреляции – обратная. По мере ослабления линейной корреляционной связи, коэффициент корреляции уменьшается по своей абсолютной величине. На практике принято считать, что величины достаточно связаны между собой, если $|r| > 0,6$.

Для удобства расчета коэффициента корреляции следует составить таблицу 8.2 по примеру (см. ниже).

Таблица 8.2. Форма для расчета коэффициента корреляции

№	x_i	y_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
1.							
2.							
..							
..							
n							
	$\Sigma=$	$\Sigma=$		$\Sigma=$		$\Sigma=$	$\Sigma=$

Большое значение в исследовании корреляционных связей отводится регрессионному анализу с помощью уравнений регрессии. *Теоретической линией регрессии* называется та линия, вокруг которой группируются точки корреляционного поля, и которая указывает основное направление и тенденцию связи.

О характере линии регрессии можно судить по эмпирической линии, которая наносится в графике корреляционного поля. Эта линия должна разбивать поле точек (результатов с факторами) примерно на равные части.

Существует множество типов теоретических линий регрессии: линейная, степенная, показательная, логарифмическая, и т.д.

Линейная зависимость описывается следующей формулой 8.4.

$$\hat{y} = a \pm bx, \quad (8.4)$$

где параметр $a = \bar{y} - b\bar{x}$, \bar{y} и \bar{x} средние арифметические значения соответствующих переменных, b - коэффициент регрессии, определяемый по следующей формуле 8.5.

$$b = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad (8.5)$$

Надо заметить, что если $b > 0$, то имеет место прямая зависимость, а если $b < 0$ - обратная зависимость.

Определив коэффициенты, подставляя значения x_i можно построить линейную зависимость между результатом и фактом по двум точкам с соответствующими координатами.

9. Рекомендации по выполнению расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа (РГР) – это вид самостоятельной работы студента для закрепления полученных теоретических знаний и практических навыков. При выполнении РГР следует:

- ✓ использовать теоретический материал из списка рекомендованной литературы;
 - ✓ провести необходимые вычисления специализированных климатических показателей;
 - ✓ построить необходимые графики для проведения анализа суточного, месячного, сезонного и годового хода климатических показателей;
 - ✓ правильно оформить выполненные задания и РГР.
- РГР выполняется студентом по индивидуальному заданию.

Исходные климатические и метеорологические данные студент отбирает для выбранного региона или населенного пункта из Научно-прикладного справочника по климату СССР, а также из интернет-ресурсов, которые представлены в данном пособии.

Все графические построения допускается выполнять с помощью кода Python. Рекомендуемые библиотеки:

- pandas — загрузка и обработка табличных данных (CSV, Excel);
- numpy — математические операции;
- scipy – статистические расчеты;
- windrose – построение розы ветров;
- meteosat – прямой доступ к данным метеостанций;
- matplotlib — построение графиков и гистограмм;
- pvlib — расчёты солнечного положения и инсоляции;
- requests — загрузка данных через API (NASA POWER, ERA5).

Рабочая среда: достаточно стандартного интерпретатора, возможно использование Google Colab (colab.research.google.com) в браузере, установка библиотек: `!pip install pvlib`

Отчет по РГР состоит из:

- ✓ титула;
- ✓ содержания (оглавления) РГР;
- ✓ основного раздела, с соответствующими пунктами, с условиями заданий, с вычислениями и решениями, с необходимыми графиками и с выводами;
- ✓ итогового заключения (вывода).

Темы РГР (в виду того, что в РГР предусмотрено проведение климатического описания выбранной местности, при выборе этой местности следует ориентироваться на будущую выпускную-квалификационную работу):

- ✓ «Анализ климатических и биоклиматических условий в районе строительства вахтового поселка в северных условиях»

- ✓ «Анализ климатических и агроклиматических условий в районе строительства тепличного хозяйства»;
- ✓ «Анализ климатических и биоклиматических условий в районе строительства рекреационных объектов».

Основной раздел должен содержать (темы):

- I. Оценка условий теплопоглощения вертикальных стен от солнечной радиации.
- II. Оценка температурно-влажностного режима.
- III. Оценка температурно-ветрового режима.
- IV. Анализ режима осадков и косых дождей.
- V. Оценка высоты снежного покрова и снеговой нагрузки.
- VI. Анализ биоклиматических (агроклиматических) условий.
- VII. Выводы.

Для проведения анализа температурно-влажностного и температурно-ветрового режимов предлагается использовать дополнительные методы анализа. В первом случае это бланк-сетка, а во втором – номограмма для оценки температурно-ветрового режима (рис. 9.1 и 9.2) [4].

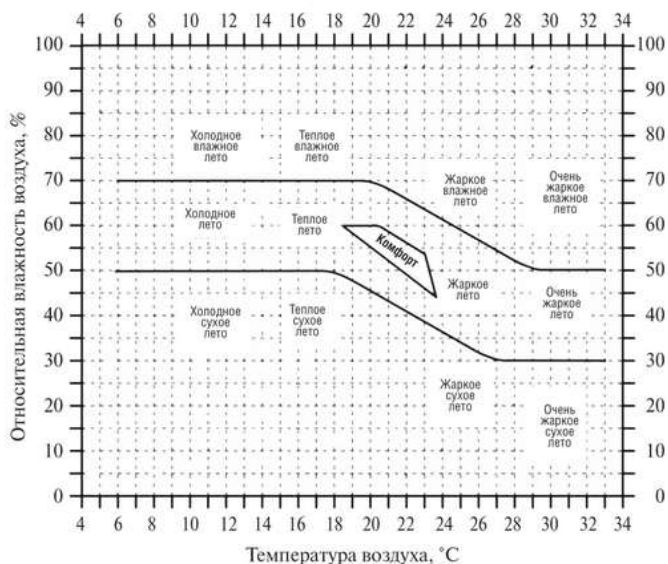


Рис.9.1. Бланк-сетка для оценки температурно-влажностного режима

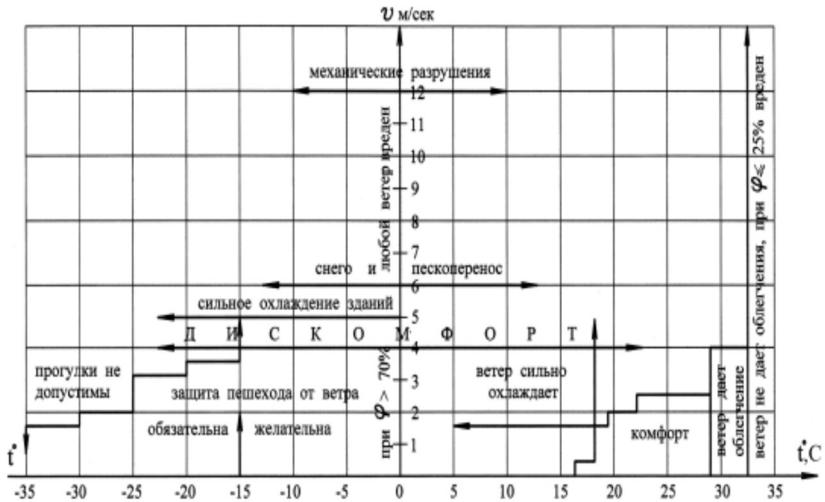


Рис.9.2. Номограмма для оценки температурно-ветрового режима

При анализе температурно-влажностного режима на бланк-сетку следует последовательно нанести точки с координатами: среднемесячные температуры и относительную влажность, среднемесячные ночные температуры и относительную влажность воздуха, и среднемесячные дневные температуры воздуха и влажность с мая по сентябрь месяцы. Полученные точки необходимо соединить между собой и получаем три области (рис. 9.3).

На бланке с помощью двух линий обозначена зона оптимальной влажности при различных значениях температуры воздуха, а также представлена зона комфорта. Предполагается, что если какие-либо области не попадают в зону комфорта, то при проектировании жилых кварталов необходимо предусмотреть мероприятия по приближению этих областей к зоне комфорта. В примере с рис.9.3. в зоне комфорта оказался только дневной июльский период. В целом, дневной температурно-влажностный режим с мая по сентябрь близок к норме. В оптимальной зоне оказались среднемесячные значения температурно-влажностных характеристик с мая по июль. При этом лето умеренно теплое с нормальной влажностью.

В номограмме температурно-ветрового режима выделено 12 зон. Наиболее актуальные зоны для населения (справа – налево):

- 1) Ветер не дает облегчения, при влажности воздуха менее 25% - вреден;
- 2) Ветер дает облегчение;
- 3) Комфорт;
- 4) Ветер сильно охлаждает;
- 5) Дискомфорт;
- 6) Защита пешехода от ветра обязательна или желательна;
- 7) Прогулки не допустимы;

- 8) Сильное охлаждение зданий;
- 9) Снего- и пескоперенос;
- 10) Любой ветер вреден;
- 11) Механические разрушения.

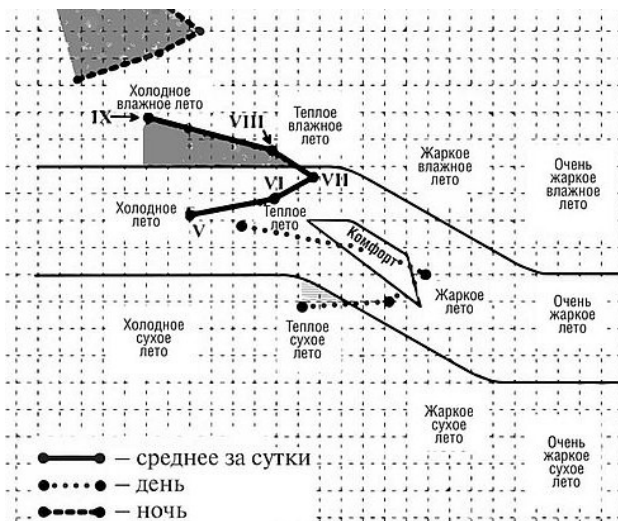


Рис.9.3. Пример заполнения бланк-сетки [4]

В номограмму можно заносить точки со среднемесячными и среднедневными значениями температуры воздуха и скорости ветра за все месяцы года. Из рис.9.2. можно увидеть, что только в июле месяце складывается комфортная ситуация по температурно-ветровому режиму. В зимние месяцы желательна защита пешеходов от ветра, так как при высоких значениях относительной влажности пешеходы будут испытывать значительное охлаждение (ЭЭТ).

В связи с тем, что ветер оказывает существенное влияние на самочувствие человека следует провести дополнительную оценку. В 5 разделе проведены расчеты влияния ветра на человека с помощью индекса ветрового сухого охлаждения Хилла. Данную формулу можно преобразовать и предоставить в следующем виде (ф.9.1.) [4, 8]:

$$H = (0,13 + 0,47 \cdot V) \cdot (36,5 - t), \quad (9.1)$$

где H – ветроохлаждение в условных единицах, V – скорость ветра (м/сек), t – температура воздуха.

Формулу целесообразно использовать при скоростях ветра от 1 до 17 м/сек и при температуре воздуха 36,6°C и менее. С помощью этой формулы

можно построить номограмму для определения условий ветрового охлаждения в холодное время года (рис.9.4).

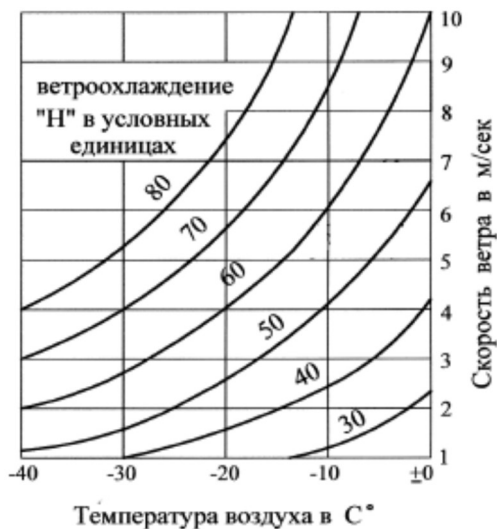


Рис.9.4. Номограмма для определения ветрового охлаждения [4]

Оформление РГР. Формат бумаги А4, отступы – сверху и снизу 2 см, слева 2,5 см, справа 1,5 см. Шрифт Times New Roman 14. Абзачный отступ. Межстрочный интервал 1,5. Выравнивание текста по ширине и автоматический перенос строк (Макет, Расстановка переносов). Таблицы и графики (рисунки) следует оформлять как в данном пособии. Номер страницы (колоннитул) – в середине внизу страницы.

10. Контрольный материал: вопросы для экзамена (зачета)

1. Полезность специализированной климатической информации;
2. Стандартные и специализированные климатические показатели;
3. Климатологический прогноз и метод статистической экстраполяции при решении задач прикладной метеорологии;
4. Климатическая информация, получаемая в процессе инженерно-метеорологических изысканий для строительства;
5. Климатическая информация, необходимая для выбора места строительства и размещения здания на местности;
6. Инсоляция и методы учета режима инсоляции;
7. Влияние солнечной радиации на ограждающие конструкции и методы ее расчета;

8. Учет температурного режима в строительной отрасли;
9. Климатическая информация для определения долговечности здания;
10. Метеорологические аспекты теплового режима зданий;
11. Влияние метеорологических условий на коррозию материала;
12. Атмосферные нагрузки и воздействия;
13. Учет ветровой и снеговой нагрузки;
14. Климатическая информация для обеспечения строительных работ на открытом воздухе;
15. Климатическое обслуживание энергетической отрасли;
16. Гололёдные и гололёдно-ветровые нагрузки на провода линий электропередач;
17. Гололёдные нагрузки на высотах;
18. Климатическая информация для гелио- и ветроэнергетики;
19. Потенциальные ветро и гелиоресурсы на территории России;
20. Выбор места для строительства ветро и гелиоустановок;
21. Климатическая информация для проектирования автомобильных магистралей и железных дорог;
22. Ветровые нагрузки у земли и на высотах;
23. Метелево-снеговые переносы;
24. Опасные и особо опасные для наземного транспорта условия;
25. Использование гидрометеорологической информации для обеспечения безопасности наземного транспорта;
26. Биоклиматические показатели;
27. Основные проблемы биометеорологии;
28. Уравнение теплового баланса человека;
29. Солнечная радиация и биометеорологические факторы;
30. Биометеорологические параметры;
31. Факторы теплового баланса тела человека;
32. Принципы классификации погоды для медицинских целей;
33. Оценка комфортности условий с помощью температурных шкал и индексов;
34. Факторы, формирующие микроклимат территории;
35. Микроклиматический режим температуры воздуха и почвы;
36. Микроклимат радиационного режима;
37. Микроклимат ветра;
38. Особенности проведения микроклиматических изысканий;
39. Обобщение результатов микроклиматических изысканий;
40. Микроклиматическое районирование.

11. Примеры тестов для контроля знаний

- 1) Среди перечисленных показателей выбрать специализированный климатический показатель:
 - а) повторяемость направлений ветра;
 - б) роза ветров;
 - в) совмещенная роза ветров;
 - г) средняя месячная скорость ветра.
- 2) Что необходимо учитывать для предотвращения образования трещин на ВПП?
 - а) среднее месячные значения температуры воздуха;
 - б) суточные и годовые колебания температуры воздуха;
 - в) месячные и годовые суммы осадков;
 - г) экстремальные суммы осадков.
- 3) Что необходимо учитывать для предотвращения образования трещин на ВПП?
 - а) среднее месячные значения температуры воздуха;
 - б) суточные и годовые колебания температуры воздуха;
 - в) месячные и годовые суммы осадков;
 - г) экстремальные суммы осадков.
- 4) Нормативная продолжительность инсоляции не менее 2 ч.30 минут – это норма инсоляции для
 - а) для северной зоны;
 - б) для центральной (умеренной) зоны;
 - в) для южной зоны.

Список рекомендуемой литературы

1. Абанников В.Н. Микроклиматическое районирование туманов на территории городов Владивостока и Якутска. Итоговая сессия ученого совета: Тезисы докладов, СПб., 24–25 января 1995 г. / Российский государственный гидрометеорологический институт. – СПб.: Российский государственный гидрометеорологический институт, 1995. – с.8. – ISBN 5-86813-088-X.
2. Агрометеорология: учебник / Л.Л. Журина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 350 с. – (ВО: Бакалавриат). – DOI 10.12737/14563. <https://znanium.ru/read?id=420533&pagenum=198>.
3. Адамчик А. С. «Влияние солнечной активности на систему крови». В кн. «Тезисы докладов научной конференции молодых ученых и специалистов НИИ медицинской радиологии, Обнинск, 1972, стр. 3
4. Архитектурная климатография: учебное пособие / М.С.Мягков., Л.И.Алексеева. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 363 с. <https://znanium.ru/read?id=473026>
5. Белов Н.Ф., Васильев В.А. Практикум по климатологии. – Л.: изд. ЛГМИ, 1990. – 203 с.
6. Владимирский Б.М., в книге «Космическая погода и биосфера-история исследований и современность». Москва, URSS, 2015, 64 стр.
7. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология / учебник. – Л., Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
8. Головина Е. Г., Русанов В. Й. Некоторые вопросы биометеорологии. Учебное пособие. — СПб., изд. РГГМИ, 1993. — 90 с.
9. ГОСТ Р 57795-2017. Здания и сооружения. Национальный стандарт Российской Федерации. – М.: Стандартинформ, 2017.
10. Дроздов О. А., Васильев В. А., Кобышева Н. В. и др. Климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568 с.
11. Инсоляция помещений и территорий застройки: учеб. пособие / В. А. Каратаев [и др.]; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). –Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 64 с.
12. Кобышева Н. В., Стадник В. В., Клюева М. В., Пигольцина Г. Б., Акентьева Е. М., Галюк Л. П., Разова Е. Н., Семенов Ю. А. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / Под редакцией д-ра геогр. наук, профессора Н.В. Кобышевой. – СПб.: ЦНИТ «Астрион», 2008. – 336 с.
13. Кобышева Н. В., Клюева М. В., Акентьева Е. А., Стадник В. В., Псаломщикова Л. М., Петерс А. А., Пигольцина Г. Б., Разова Е. Н., Фасолько Д. В. Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Строительство. Транспорт. – СПб.: изд. ГГО им.А.И.Воейкова, 2017. – 167 с.
14. Колесник А. Г., Колесник С. А., Побаченко С. В. Электромагнитная экология. Томск: ТМЛ-Пресс, 2009. 336 с.

15. Куприянов В.Н., Седова Ф.Р. Энергетический метод нормирования и расчета инсоляции жилых помещений / Учебно-методическое пособие для магистров по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура» и 08.03.01 «Строительство». – Казань, изд. КГАСУ, 2016. – 38 с.
16. Лобатовкина Е.Г., Ларионова К.О., Стецкий С.В. Строительная физика (Естественное освещение и инсоляция) / Методические указания к выполнению практических работ для студентов специалитета всех форм обучения направления подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений. – М.: изд. НИУ МГСУ, 2015. – 35 с.
17. Лосев А.П. Сборник задач и вопросов по агрометеорологии: учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2018. – 170 с.
18. Марченко В.И. «Влияние солнечных пятен на фибринолиз и фибриногенолиз». Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца, 1971, вып. 17, стр. 13
19. Медико-экологические основы формирования, лечения и профилактики заболеваний у коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа / Хаснулин В. И., Вильгельм В. Д., Воевода М. И. и др. Новосибирск, СО РАМН, 2004. – 316 с.
20. Наровлянский Г.Я. Авиационная климатология: учебник. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – 268 с.
21. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1- 6. Вып. 1-34. - Л.: Гидрометеоздат, 1985-2000.
22. Общий курс физиологии человека и животных. Физиология нервной, мышечной и сенсорной систем. Книга 1. М., Высшая школа, 1991, под редакцией проф. А. Д. Ноздрачева
23. Проблемы космической биологии, т.18, 1973, Н. И. Музалевская.
24. Проблемы космической биологии. Сборник. Под редакцией академика А. М. Уголева, т. 53, 1986, стр. 1.
25. РД 52.21.692 – 2007. Требования к составлению климатического описания аэродрома. – Москва.: Метеоагентство Росгидромета, 2007. – 38 с.
26. Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы мезо-и микроклиматического районирования для целей размещения сельскохозяйственных культур с применением технологии автоматизированного расчета. – СПб.: Гидрометеоздат, 2003 – 105 с.
27. Севастьянова Л.М., Никольченко Ю.Н. Потенциальные ветро- и гелиоэнергетические ресурсы в Алтайском крае / Вестник Томского государственного университета, 2012, № 365. С.187-193.
28. Строительная климатология. СНиП 23-01-99*. Свод правил СП 131.13330.2018. – М.: 2018.
29. Травкин М. П, Колесников А.М. «Влияние Курской магнитной аномалии на заболеваемость населения» в книге «Материалы второго Всесоюзного совещания по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты», М. 1969. – 225 с.

30. Хаснулин В. И., Хаснулин П. В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах // Экология человека. 2012. № 1. С. 3-11.
31. Хаснулин В.И. Здоровье человека и космогеофизические факторы Севера. // Экология человека. 2013. № 22. С. 3–13/
32. Хаснулин В. И., Шургая А. М., Хаснулина А. В., Севостьянова Е. В. Кардиометеопатии на Севере. Новосибирск, СО РАМН, 2000. – 222 с.
33. Чижевский А. Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов, Киев, Наукова думка, 1973.
34. Чубуков Л. А. «Комплексная климатология» Издание: М.–Л.: Издательство Академии наук СССР, 1949
35. Е.Н. Чуян, Н.С. Трибрат, М.Ю. Раваева, М.Н. Ананченко/ Тканевая микрогемодинамика: влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона. Монография, Симферополь, ИТ «АРИАЛ», 2017. – 306 с.
36. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 246 с.
37. Шталь В.А., Белов Н.Ф., Циценко Г.В. Прикладная климатология / Учебное пособие. - Л.: изд. ЛПИ (ЛГМИ), 1981. – 164 с.
38. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации/Под редакцией д-ра географических наук проф. Н.В. Кобышевой, канд. географических наук К.Ш. Хайруллина, Санкт-Петербург, ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 2005. – 319 с.
39. Hanzelka, M.; Dan, J.; Fiala, P.; Dohnal, P. Human Psychophysiology Is Influenced by Low-Level Magnetic Fields: Solar Activity as the Cause. Atmosphere, 2021, 12, 1600. <https://doi.org/10.3390/atmos12121600>.
40. Michal Cifra & Francesca Apollonio & Micaela Libert2 & Tomás García-Sánchez & Lluís M. Mir/ Possible molecular and cellular mechanisms at the basis of atmospheric electromagnetic field bioeffects/International Journal of Biometeorology (2021) 65:59–67, <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01885-1>, SPECIAL ISSUE: ATMOSPHERIC ELECTRICITY AND BIOMETEOROLOGY.
41. Weiwei Yu & Kerrie Mengersen & Xiaoyu Wang & Xiaofang Ye & Yuming Guo & Xiaochuan Pan & Shilu Tong, Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence. Review/ Int J Biometeorol 56, 569–581 (2012) <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0497-3>.
42. Qunwu Zha · Guorong Chai · Zhe-George Zhang · Yongzhong Sha · Yana Su Tingting Wu, Impact of temperature changes between neighboring days on cardiovascular disease hospital admissions among suburban farmers in Qingyang, Northwest China/ International Journal of Biometeorology (2022) 66:1233–1245, <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02271-9>.

43. Stephen A. Lewandowski · Jeffrey L. Shaman, Heat stress morbidity among US military personnel: Daily exposure and lagged response (1998–2019)/ International Journal of Biometeorology (2022) 66:1199–1208, <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02269-3>.
44. Lisa M. E. Dohmen & Mark Spigt,2 & Hasse Melbye, The effect of atmospheric pressure on oxygen saturation and dyspnea: the Tromsø study/ International Journal of Biometeorology (2020) 64:1103–1110, <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01883-3>:
45. Alba Camacho-Cardenosa · Marta Camacho-Cardenosa · Pablo Tomas-Carus · Rafael Timyn Guillermo Olcina · Martin Burtscher, Acute physiological response to a normobaric hypoxic exposure: sex differences/ International Journal of Biometeorology (2022) 66:1495–1504, <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02298-y>

Интернет ресурсы:

46. <https://public.wmo.int/ru>
47. <http://meteo.ru/data/wind-speed-surface/>
48. <http://maps.aopa.ru>
49. <https://meteo.ru>
50. <https://rp5.ru>
51. <https://pogodaiklimat.ru>
52. <https://meteoinfo.ru/climatcities?p>

Таблица А. Среднемесячная температура воздуха, м.ст. Елецкая

N	Годы	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII
1	1960	-22,7	-25,6	-26,2	-8,9	-4,2	6,5	12,4	7,6	3,9	-7,3	-16,4	-12,6
2	1961	-15,0	-16,7	-7,7	-9,8	-3,0	6,6	15,8	11,7	3,2	-3,2	-12,3	-17,2
3	1962	-15,1	-11,9	-13,9	-4,9	2,0	7,6	16,3	9,1	7,1	-6,4	-8,3	-18,8
4	1963	-19,1	-18,4	-25,9	-9,1	-1,5	8,9	13,4	10,1	3,8	-1,4	-13,9	-21,7
5	1964	-25,9	-17,8	-20,8	-16,6	-2,9	6,4	15,7	9,3	4,5	-2,5	-20,0	-12,2
6	1965	-19,2	-19,5	-11,8	-8,6	-4,2	7,0	12,8	10,7	3,1	-7,9	-20,4	-13,7
7	1966	-21,2	-30,2	-18,2	-10,2	-1,9	5,0	13,5	9,5	3,9	-10,0	-9,7	-16,6
8	1967	-23,2	-15,9	-5,6	-1,3	-2,0	7,4	15,4	11,2	3,7	-0,4	-4,8	-13,1
9	1968	-20,2	-15,6	-9,8	-12,9	-1,6	4,1	8,6	9,2	1,6	-5,8	-24,0	-24,4
10	1969	-27,2	-23,1	-18,5	-11,2	-6,3	3,6	13,5	7,0	3,8	-6,4	-7,4	-16,6
11	1970	-25,7	-19,0	-9,9	-10,6	-5,4	2,7	12,6	7,1	7,1	-5,3	-14,5	-16,2
12	1971	-19,1	-22,3	-16,5	-13,3	-2,4	3,8	11,6	8,7	4,7	-6,9	-9,6	-14,5
13	1972	-25,0	-18,5	-17,2	-7,7	-7,1	6,9	12,0	9,4	1,5	-3,2	-19,0	-15,8
14	1973	-26,0	-14,6	-14,9	-5,7	-1,0	7,5	12,0	11,9	1,9	-5,1	-11,0	-16,3
15	1974	-20,5	-24,4	-11,6	-10,6	-4,2	6,2	17,6	10,7	5,6	-4,8	-21,8	-8,3
16	1975	-17,6	-19,9	-13,4	-7,0	-3,7	2,8	11,7	9,3	6,5	-7,9	-13,3	-13,0
17	1976	-20,2	-19,8	-12,9	-4,2	-2,8	7,5	14,2	12,7	4,4	-10,3	-9,3	-11,1
18	1977	-20,1	-27,2	-18,6	-4,6	1,2	11,0	13,5	11,0	4,7	-11,2	-7,3	-16,4
19	1978	-16,9	-19,1	-14,7	-16,7	-5,9	2,4	12,5	7,2	3,2	-3,7	-12,4	-25,8
20	1979	-25,6	-24,8	-19,4	-13,8	-1,2	4,1	13,0	10,2	7,0	-9,1	-9,3	-18,9
21	1980	-25,0	-15,3	-14,4	-7,1	-3,0	6,1	9,9	6,7	5,6	-1,5	-14,5	-13,9
22	1981	-10,8	-15,4	-18,9	-11,5	-3,8	8,8	11,9	14,6	5,0	1,0	-6,9	-10,5
23	1982	-24,3	-20,5	-18,5	-4,6	2,0	9,1	15,1	7,6	3,9	-9,3	-8,9	-11,2
24	1983	-15,0	-18,6	-13,7	-10,0	-5,6	7,0	14,2	9,3	5,4	-1,6	-12,0	-13,4
25	1984	-11,9	-13,3	-9,0	-16,9	-2,6	6,9	14,5	10,4	4,9	-5,6	-21,4	-17,0
26	1985	-25,2	-27,0	-11,6	-10,8	-6,1	6,0	11,5	9,1	7,4	-3,5	-11,2	-21,7
27	1986	-17,0	-23,8	-9,7	-8,7	-4,8	6,6	10,3	8,3	2,2	-2,2	-5,4	-26,8
28	1987	-24,1	-20,6	-13,8	-14,0	-0,2	5,7	15,1	8,9	4,4	0,1	-16,4	-19,2
29	1988	-16,8	-19,4	-10,0	-13,7	-2,1	6,8	14,5	11,1	4,7	-3,5	-13,1	-13,5
30	1989	-24,2	-17,3	-6,6	-14,3	1,4	11,0	15,5	11,2	5,9	-2,0	-12,0	-20,4
31	1990	-22,3	-15,7	-12,1	-3,8	-0,7	10,0	18,0	10,1	3,3	-5,5	-19,6	-16,2
32	1991	-20,7	-18,8	-16,4	-3,1	2,7	13,0	12,6	9,7	7,3	-1,2	-10,4	-19,1
33	1992	-14,2	-14,8	-11,0	-17,8	0,7	4,3	11,8	10,5	4,5	-9,2	-19,6	-13,9
34	1993	-14,3	-16,2	-11,5	-8,8	-3,4	13,0	16,1	10,4	4,5	-4,9	-12,1	-17,9
35	1994	-17,8	-27,9	-9,3	-6,1	-4,3	11,2	14,2	10,7	4,4	-1,6	-17,5	-15,2
36	1995	-14,6	-9,5	-8,9	-1,8	1,0	6,1	13,1	11,6			-13,8	-19,7
37	1996	-17,0	-15,8	-8,8	-11,5	-1,3	7,7	12,7	7,4		-2,0	-4,7	-16,5
38	1997	-23,1	-23,6	-11,3	-2,8	1,3	6,4	7,6	8,1	6,9	-2,0	-15,9	-24,4
39	1998	-21,1	-29,6	-12,0	-14,3	-4,0	7,0	16,4	10,7	0,4	-9,9	-22,2	-20,6
40	1999	-24,4	-14,5	-19,3	-13,9	-6,0	5,3	12,0	9,1	3,9	-1,4	-15,3	-13,1

Таблица Б. Аномально-жаркая погода в Поволжье [*meteo.ru*]

№	Дата начала	Дата окончания	Субъект РФ	Количество дней
1	25.06.2010	30.06.2010	Пензенская область	6
2	22.07.2010	14.08.2010	Пензенская область	24
3	11.05.2013	18.05.2013	Пензенская область	8
4	13.08.2014	17.08.2014	Пензенская область	5
5	24.05.2015	02.06.2015	Пензенская область	9
6	15.06.2015	29.06.2015	Пензенская область	15
7	22.06.2010	28.06.2010	Республика Марий Эл	8
8	14.07.2010	18.07.2010	Республика Марий Эл	5
9	20.07.2010	14.08.2010	Республика Марий Эл	27
10	22.06.2010	28.06.2010	Республика Мордовия	7
11	14.07.2010	18.07.2010	Республика Мордовия	5
12	20.07.2010	14.08.2010	Республика Мордовия	27
13	18.05.2012	23.05.2012	Республика Мордовия	6
14	28.07.2010	12.08.2010	Республика Татарстан	16
15	28.05.2015	02.06.2015	Республика Татарстан	6
16	22.09.2015	29.09.2015	Республика Татарстан	8
17	18.08.2016	25.08.2016	Республика Татарстан	8
18	24.06.2010	30.06.2010	Самарская область	7
19	22.07.2010	14.08.2010	Самарская область	24
20	13.08.2011	17.08.2011	Самарская область	5
21	11.05.2013	18.05.2013	Самарская область	8
22	22.05.2014	27.05.2014	Самарская область	6
23	15.08.2014	19.08.2014	Самарская область	5
24	24.05.2015	02.06.2015	Самарская область	10
25	15.06.2015	29.06.2015	Самарская область	15
26	18.08.2016	26.08.2016	Самарская область	9
27	13.06.2010	15.06.2010	Саратовская область	3
28	24.06.2010	28.06.2010	Саратовская область	5

Продолжение табл.Б.

29	23.07.2010	14.08.2010	Саратовская область	23
30	03.08.2012	10.08.2012	Саратовская область	8
31	11.05.2013	18.05.2013	Саратовская область	8
32	22.05.2014	27.05.2014	Саратовская область	6
33	24.05.2015	02.06.2015	Саратовская область	10
34	15.06.2015	29.06.2015	Саратовская область	15
35	18.08.2016	25.08.2016	Саратовская область	8
36	01.08.2016	26.08.2016	Свердловская область	26
37	22.07.2010	14.08.2010	Ульяновская область	24
38	22.05.2014	27.05.2014	Ульяновская область	6
39	24.05.2015	02.06.2015	Ульяновская область	10
40	15.06.2015	29.06.2015	Ульяновская область	15
41	18.08.2016	25.08.2016	Ульяновская область	8
42	22.06.2010	28.06.2010	Чувашская Республика	7
43	14.07.2010	18.07.2010	Чувашская Республика	5
44	20.07.2010	14.08.2010	Чувашская Республика	27

Таблица В. Температура почвы на глубинах [17]

Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0	-1,9	-2,4	-2,0	3,2	12,3	17,1	19,8	15,6	9,9	4,2	0,9	-1,2
0,4	0,6	0,2	0,1	1,4	8,1	12,4	15,6	14,9	10,8	6,4	2,8	0,8
0,8	2,1	1,4	1,2	1,7	7,1	10,3	13,4	13,9	11,3	7,7	4,5	2,7
1,2	2,9	2,3	1,7	2,1	5,0	9,2	11,7	12,7	11,2	8,4	5,7	3,6
1,6	3,5	2,7	2,3	2,8	4,6	8,1	10,4	11,6	10,7	8,6	6,3	4,3
2,0	4,3	3,4	2,8	2,9	4,4	7,2	9,6	11,1	10,5	8,8	6,9	4,8
2,8	5,2	4,1	3,8	3,5	4,3	5,8	7,9	9,8	9,7	9,0	7,6	5,9
3,2	5,6	4,7	4,2	3,6	4,2	5,6	7,4	9,2	9,5	9,1	7,7	6,3

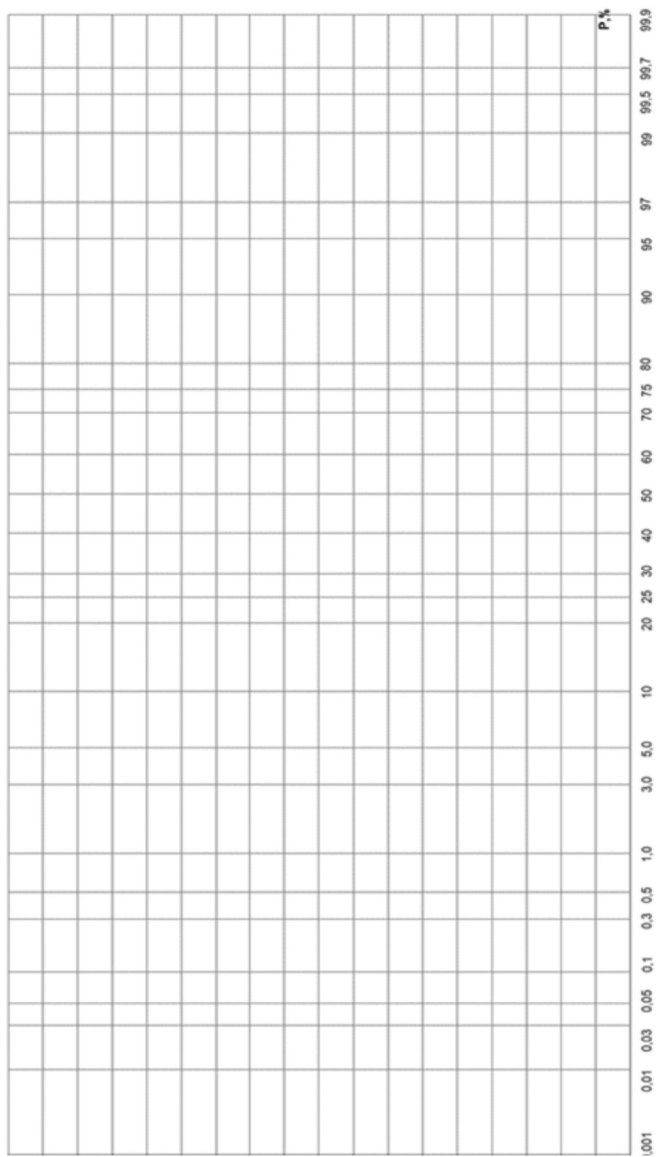


Рисунок А. Шаблон асимметричной клетчатки

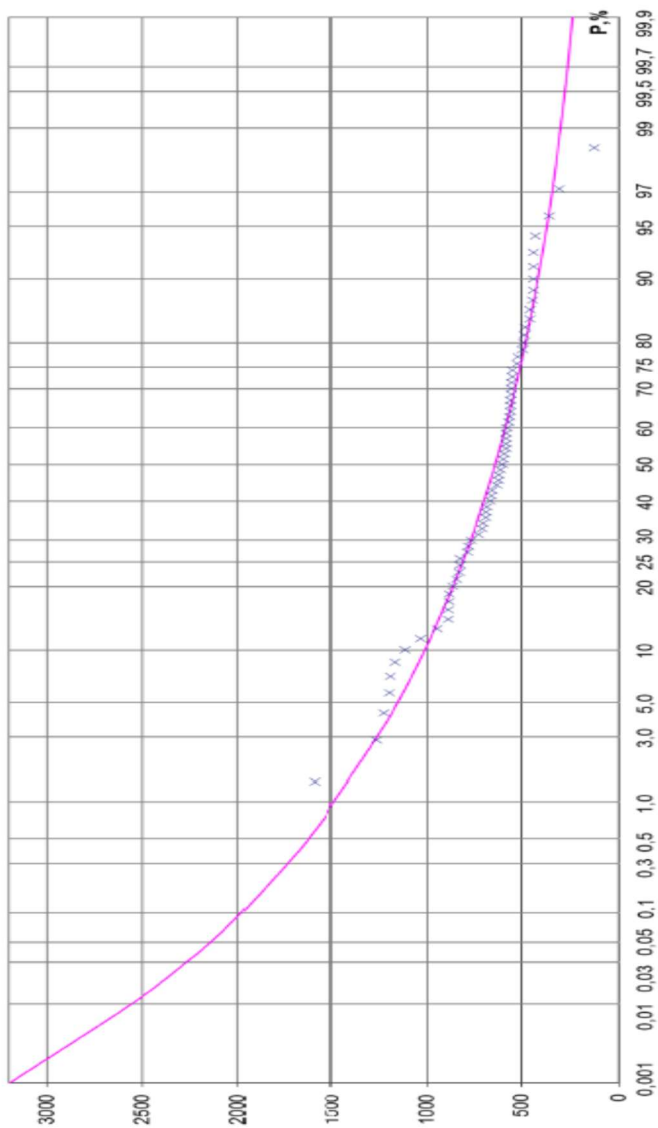


Рисунок Б. Пример построения кривой интегральной вероятности

Учебное издание

АБАННИКОВ Виктор Николаевич,
ЛЕБЕДЕВ Андрей Борисович,
СТУПИШИНА Ольга Михайловна,
ПОДГАЙСКИЙ Эдуард Валерьевич,
МОИСЕЕВА Наталья Олеговна

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по дисциплине

«ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ»

по направлениям подготовки:

05.03.05 – Прикладная гидрометеорология

(профили прикладная метеорология и авиационная метеорология);

05.03.04 – Гидрометеорология *(профиль метеорология и климатические риски)*

Печатается в авторской редакции

ЦНИТ «Астерион»

Подп. в печать 26.03.2026 г. Формат 60×84 1/16.

Заказ № 012. Бумага офсетная. Печ. л. 7,25. Тираж 100 экз.

191015, Санкт-Петербург, Суворовский пр., 61, пом. 23Н

✉: asterion@asterion.ru 🌐: <https://asterion.ru/>

📌: https://vk.com/asterion_izdatelstvo