

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Н. Ф. БЕЛОВ, В. А. ВАСИЛЬЕВ

ПРАКТИКУМ ПО КЛИМАТОЛОГИИ

*Допущено Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по специальности «Метеорология»*

ЛЕНИНГРАД

1990

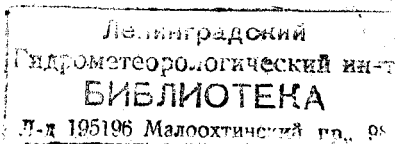
УДК 551.51

Белов Н. Ф., Васильев В. А. Практикум по климатологии. Л., изд. ЛГМИ, 1990. — 203 с.

Практикум составлен в соответствии с программой дисциплины «Климатология», утвержденной Минвузом СССР 4 июля 1984 г. по специальности «Метеорология». Основное внимание уделено вопросам, связанным с формированием климата, методике обработки и анализа климатологической информации.

Предназначен в качестве учебного пособия для студентов гидрометеорологических институтов и университетов.

Рецензенты: Вики им. А. Ф. Можайского (В. Д. Лысенко, канд. геогр. наук); А. А. Шнейдер, доц. канд. физ.-мат. наук (Киргизский гос. университет).



Уч. к. 1002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторный практикум предназначен для более углубленного изучения курса климатологии, приобретения практических навыков по анализу и обработке исходной информации, анализу полученных результатов и закономерностей пространственно-временного распределения климатических характеристик.

В практикуме освещены четыре основных темы курса.

Первые три темы рассматривают вопросы общей климатологии: основные климатообразующие процессы и факторы и их роль в климатообразовании, пространственно-временные распределения полей составляющих радиационного и теплового балансов, давления, преобладающего направления ветра, температуры и влажности воздуха, облачности и осадков. Уделяется внимание основам классификации климата.

Тема 4 посвящена климатологической обработке метеорологической информации. Результатом изучения этой темы является приобретение навыков анализа качества метеорологической информации, привлекаемой к климатологической обработке, правильное использование математического аппарата, умение интерпретировать полученные результаты и использовать их в интересах практики.

Для более глубокого изучения рассматриваемых вопросов приводится дополнительная литература.

Каждая лабораторная работа включает описание работы, задания и методические указания по ее выполнению, рекомендованную литературу. Задания предполагают или выполнение конкретных расчетов, или анализ карт и графиков и письменные ответы на поставленные вопросы. При выполнении ряда заданий можно использовать микроЭВМ. В качестве исходных данных предлагаются справочники по климату СССР и зарубежных стран, климатические карты, атласы или табличный материал, которые помещены в конце каждой лабораторной работы. Лабораторные работы 2 и 4 темы 1 подготовлены Н. Ф. Беловым и В. А. Васильевым, остальные — Н. Ф. Беловым.

Тема 1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТА

Климатология — это наука, изучающая физические закономерности формирования и изменения климата, оценивающая климатические ресурсы различных районов земного шара, а также их влияние на деятельность человека, животных и растительный мир. В последние годы предметом исследования климатологии являются также возможные изменения климата под влиянием человеческой деятельности. В настоящее время известно несколько десятков определений климата. Однако подходов к его определению существует только два. Первый — когда климат выступает как понятие чисто статистическое, абстрактное, характеризующееся неизменными величинами. Второй основывается на том, что климат является объективной реальностью, а погода — это переходящее, изменяющееся поведение метеорологических величин и их характеристик, подчиняющееся законам и правилам данного климата. В таком подходе заложено представление об изменении климата, его динамике.

Развитие и углубление климатических исследований, понимание прямой связи климата с элементами окружающей среды привели к появлению такого понятия, как «климатическая система», в которую входят атмосфера, гидросфера, суша, криосфера и биосфера. Два свойства атмосферы — масштабность и всепроникновение — делают ее ведущим компонентом климатической системы.

Климат — это многолетний режим погоды, формирующейся в климатической системе в результате прихода солнечной радиации, физических и химических процессов, происходящих на подстилающей поверхности, в атмосфере и океане при активном участии атмосферной циркуляции.

Такое определение климата позволяет указать на основные климатообразующие процессы.

Процессы, обусловленные приходом солнечной радиации, являются главными. Поток солнечной энергии обеспечивает непрерывную работу всего механизма климата. Климатическая система выступает только как аппарат по усвоению потока солнечной радиации. С этой точки зрения климат есть способность климатической системы усваивать определенное количество радиации на данном отрезке времени, а изменение климата — увеличение или уменьшение этой способности из-за внутренних изменений климатической системы.

Подстилающая поверхность является основным потребителем и преобразователем солнечной радиации. Поглощая солнечную радиацию, подстилающая поверхность нагревается и отдает свое тепло атмосфере. В переносе тепла от земной поверхности к атмосфере и внутри ее основную роль играют следующие процессы:

1. Радиационный или лучистый теплообмен за счет отраженной радиации и эффективного излучения.

2. Турбулентный и конвективный теплообмен.

3. Фазовые переходы воды.

Роль каждого вида тепла — радиационного, турбулентного и конденсационного — в нагревании атмосферы различна. По оценкам, вклад различных источников тепла в приток тепла к атмосфере выглядит следующим образом: 18% — за счет поглощения коротковолновой солнечной радиации, 26% — за счет радиационного длинноволнового излучения подстилающей поверхности, 41% — за счет конденсации водяного пара и 15% — за счет турбулентного и конвективного обмена.

Циркуляция атмосферы, являясь результатом неодинакового прихода солнечной радиации в низких и высоких широтах за счет шарообразной формы Земли, а также результатом вращения Земли вокруг своей оси, принимает активное участие в формировании климата. За счет атмосферной циркуляции осуществляется межширотный и меридиональный обмен теплом, влагой и количеством движений. Атмосферная циркуляция обеспечивает перенос воздушных масс и их трансформацию, обуславливает формирование фронтальных разделов, циклонических и антициклонических вихрей.

Понимание роли каждого климатообразующего процесса в формировании климата, климатообразующих факторов, обеспечивающих интенсивность протекания процессов, позволяет правильно объяснять пространственно-временные закономерности распределения метеорологических величин и их характеристик, судить о возможных изменениях климата при изменениях климатообразующих процессов и факторов.

Литература

1. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. М., изд. МГУ, 1974. — 300 с.
2. Витвицкий Г. Н. Зональность климата Земли. — М.: Мысль, 1980. — 256 с.
3. Гаврилова Л. А. Аэроклиматология. Л., изд. ЛГМИ, 1982. — 155 с.
4. Кобышева Н. В., Костин С. И., Струнников Э. А. Климатология. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 244 с.
5. Шапаев В. М. Климатология. Л., изд. ЛГМИ, 1974. — 168 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ОСНОВНЫЕ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ И ФАКТОРЫ

Цель работы — ознакомление с основными физическими процессами, а также факторами, от которых зависит формирование особенностей климата.

Литература

1. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Гл. 1. М., изд. МГУ, 1974.
2. Гаврилова Л. А. Аэроклиматология. Введение. Л., изд. ЛГМИ, 1982.
3. Кобышева Н. В., Костин С. И., Струнников Э. А. Климатология. Введение, гл. 1. — Л.: Гидрометеониздат, 1980.

Многообразие климатов, которое наблюдается в климатической системе, зависит от соотношения взаимодействий климатообразующих процессов и факторов. Климатообразующие процессы определяют появление физических, химических и других закономерностей в атмосфере, гидросфере, на подстилающей поверхности и в других сферах климатической системы.

Радиационные процессы являются одними из главных, от которых зависят многие другие. Солнце является внешним фактором по отношению к климатической системе, но поток солнечной энергии определяет работу всего механизма климата. Климатическая система выступает только как аппарат по усвоению потока солнечной радиации. С солнечной радиацией связаны многие процессы в атмосфере, в океане, на подстилающей поверхности.

Среди факторов, участвующих в формировании климата, есть постоянно действующие, действующие продолжительное время и кратковременно. В свою очередь, они могут быть подразделены на астрономические, метеорологические и географические. К постоянно действующим относятся астрономические факторы и физикогеография земной поверхности. Циркуляция атмосферы может быть отнесена к действующему длительное время климатообразующему фактору, так как в течение ряда лет одна форма циркуляции может преобладать над другой. К кратковременно действующему фактору принадлежит сезонно меняющаяся поверхность материков.

Задание 1

1. Дайте определение климата.
2. Какие компоненты входят в понятие климатической системы и какова их роль?
3. Перечислите основные климатообразующие процессы и определите их роль.
4. Перечислите астрономические, метеорологические и географические факторы, определите их климатообразующую роль. Какие из них являются внешними по отношению к климатической системе, какие внутренними?
5. Что понимается под транзитивностью и интранзитивностью климата?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

РОЛЬ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА

Цель работы — изучение роли радиационных процессов в климатообразовании.

Литература

1. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Гл. 2. М., изд. МГУ, 1974.
2. Шапаев В. М. Климатология. Тема 1. Л., изд. ЛГМИ, 1974.

Солнечная радиация является основным источником энергии для самых разнообразных процессов и явлений, совершающихся на Земле и в атмосфере. Солнечное тепло обуславливает жизнедеятельность животных и растительных организмов. Физические и химические процессы, происходящие на суше, в океане и атмосфере, полностью определяются количеством солнечной радиации. Количество солнечной энергии, поступающее на поверхность Земли, зависит от географической широты φ и времени года склонения Солнца δ , которые определяют полуденную высоту Солнца h и продолжительность дня и ночи:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau. \quad (1.2.1)$$

В истинный полдень высота Солнца может быть определена по выражениям

$$h = 90 - \varphi + \delta \quad \text{при } \varphi \geq \delta,$$

$$h = 90 + \varphi - \delta \quad \text{при } \varphi < \delta.$$

Теоретически рассчитанный климат, зависящий только от притока солнечной радиации без учета других климатообразующих факторов, называется солярным, или солнечным.

Суточные суммы солнечной радиации, поступающие на горизонтальную поверхность верхней границы атмосферы, вычисляются по формуле

$$J_0' = J_0^* t / \pi (a/r)^2 (\tau \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau), \quad (1.2.2)$$

где J_0^* — солнечная постоянная; $t = 86400$ с — период суточного вращения Земли; a , r — среднее и фактическое расстояние Земли от Солнца; τ — часовой угол Солнца.

$$\frac{a}{r} = \frac{1 - e \cos(90 - \lambda)}{1 - e^2}, \quad (1.2.3)$$

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \cdot \sin \lambda, \quad (1.2.4)$$

$$\tau = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta), \quad (1.2.5)$$

где λ — долгота Солнца на эклиптике; $\varepsilon = 23,5$ — наклон экватора к эклиптике; $e = 0,017$ — эксцентриситет земной орбиты; φ — географическая широта; δ — склонение Солнца.

Закономерности в пространственно-временном распределении суточных сумм J_0' характерны и для месячных сумм.

Для получения суммарной инсоляции за промежутки времени, в течение которого изменения r и δ оказываются существенными (сезон, год), необходимо проинтегрировать выражение (1.2.2) за

этот интервал времени. Выражения для летней (весна+лето) и зимней (осень+зима) инсоляции имеют вид:

$$Q_s = \frac{Q_*}{2} + \frac{J_0^* T_0}{2\pi \sqrt{1-e^2}} \sin \varphi \cdot \sin \varepsilon, \quad (1.2.6)$$

$$Q_w = \frac{Q_*}{2} - \frac{J_0^* T_0}{2\pi \sqrt{1-e^2}} \sin \varphi \cdot \sin \varepsilon, \quad (1.2.7)$$

где Q_* — средняя годовичная инсоляция; T_0 — длина года.

Средние инсоляции за астрономические полугодия определяются как отношения Q_s/T_s и Q_w/T_w . Эти величины зависят не только от значений φ и ε , но также и от продолжительности полугодий T_s и T_w , которая не является одинаковой. Продолжительности полугодий определяются по формулам

$$T_s = \frac{T_0}{2} \left(1 + \frac{4}{\pi} e \sin \lambda_n \right), \quad (1.2.8)$$

$$T_w = \frac{T_0}{2} \left(1 - \frac{4}{\pi} e \sin \lambda_n \right), \quad (1.2.9)$$

где λ_n — долгота перигелия земной орбиты; $T_0 = 365,24$ — длина года.

Чтобы исключить влияние продолжительности полугодий на среднюю инсоляцию, рассматривается инсоляция за калорические полугодия. Калорическими называются полугодия одинаковой длительности, в течение которых ежедневная суточная инсоляция на широте φ в летнее полугодие больше суточной инсоляции на этой же широте в любой из дней зимнего полугодия. Выражения для инсоляции за летнее и зимнее калорические полугодия имеют вид:

$$Q'_s = \frac{J_0^* T_0}{2\pi} \left[\frac{\pi \sqrt{1-e^2}}{J_0^* T_0} \omega_0 \pm \sin \varphi \sin \varepsilon \pm \frac{4}{\pi} e \sin \lambda_n \cos \varphi \right], \quad (1.2.10)$$

$$Q'_w = \frac{J_0^* T_0}{2\pi} \left[\frac{\pi \sqrt{1-e^2}}{J_0^* T_0} \omega_0 \pm \sin \varphi \sin \varepsilon \pm \frac{4}{\pi} e \sin \lambda_n \cos \varphi \right]. \quad (1.2.11)$$

Верхний знак относится к северному полушарию, а нижний — к южному.

Посчитав Q'_s и Q'_w для любого года в прошлом и будущем на произвольной широте φ , мы можем определить, какой широте в настоящее время соответствуют вычисленные значения инсоляции. Таким образом, разность $\varphi - \varphi_0$ определяет вековой ход широт и в известной степени отражает историю Земли.

Фактические суммы радиации, приходящие к подстилающей поверхности, значительно снижены за счет ее поглощения и отра-

жения в атмосфере. Суммарная радиация при фактическом балле облачности Q может быть определена по формуле

$$Q = Q_0 [1 - (a + bn)n], \quad (1.2.12)$$

где Q_0 — поток суммарной радиации при безоблачном небе; n — количество облачности (в долях единицы), $b = 0,38$; a — эмпирический коэффициент, зависящий от широты.

Суммарная радиация, поступающая к поверхности Земли, поглощается ею не полностью и частично отражается. Отражательная способность поверхности Земли зависит от рода тел, их физических свойств, цвета и состояния.

Земная поверхность, поглощая суммарную радиацию, в то же время теряет тепло путем длинноволнового излучения. Это тепло в значительной мере поглощается атмосферой и частично уходит в мировое пространство.

Уравнения для распределения длинноволновых потоков в атмосфере имеют вид

$$\frac{dU}{dz} = \bar{\alpha} \rho_{\pi} (B - U), \quad (1.2.13)$$

$$\frac{dG}{dz} = \bar{\alpha} \rho_{\pi} (G - B), \quad (1.2.14)$$

где U — восходящий поток длинноволнового излучения; G — нисходящий поток длинноволнового излучения; B — поток излучения черного тела; $\bar{\alpha}$ — коэффициент поглощения; ρ_{π} — плотность поглощающих газов.

Оптическую толщину атмосферы можно записать в виде

$$\tau(z) = \bar{\alpha} \beta(0) \int_0^z e^{-bz} dz = \bar{\alpha} \beta(0) / b (1 - e^{-bz}).$$

С учетом введенных обозначений запишем систему (1.2.13) — (1.2.14) в виде

$$\frac{dU}{d\tau} = B - U, \quad (1.2.15)$$

$$\frac{dG}{d\tau} = G - B. \quad (1.2.16)$$

Складывая и вычитая почленно уравнения (1.2.15) и (1.2.16), получим следующую систему:

$$\frac{dF}{d\tau} = 2B - (U + G), \quad (1.2.17)$$

$$\frac{d(U + G)}{d\tau} = -F, \quad (1.2.18)$$

где $F = U - G$ — эффективный поток инфракрасной радиации.

Дифференцируя (1.2.17) по τ с учетом (1.2.18), получим

$$\frac{d^2 F}{d\tau^2} - F = 2 \frac{dB}{d\tau}. \quad (1.2.19)$$

В качестве граничных условий для уравнения (1.2.19) примем следующие:

1. У поверхности земли при $\tau=0$, $F=(1-r)S(0)$, где r — альбе́до; $S(0)$ — поток солнечной радиации у земной поверхности.

2. На верхней границе атмосферы при $\tau=\tau_H$ зададим $G=0$, тогда из уравнений (1.2.15) и (1.2.16) можно получить:

$$\frac{dF}{d\tau} + F = 2B. \quad (1.2.20)$$

Разность между поглощенной коротковолновой солнечной радиацией и эффективным излучением определяет радиационный баланс подстилающей поверхности R :

$$R = Q(1-r) - B_{\text{эф}}, \quad (1.2.21)$$

где $Q(1-r)$ — поглощенная радиация; $B_{\text{эф}}$ — эффективное излучение; r — альбе́до подстилающей поверхности.

Формулу для радиационного баланса атмосферы R_a можно записать в виде

$$R_a = Q_{\pi} + B_{\text{эф}} - U_{\infty}, \quad (1.2.22)$$

а для радиационного баланса системы Земля — атмосфера R_s в виде

$$R_s = J'_0(1-r_s) - U_{\infty}. \quad (1.2.23)$$

В этих формулах Q_{π} — поглощенная атмосферой коротковолновая солнечная радиация; J'_0 — поток солнечной радиации на горизонтальную поверхность верхней границы атмосферы; r_s — альбе́до Земли как планеты; U_{∞} — уходящее в мировое пространство излучение земной поверхности и атмосферы. Согласно расчетам поглощаемая атмосферой коротковолновая солнечная радиация нагревает ее в среднем за год на $0,6^\circ\text{C}$ в сутки, а длинноволновое излучение в космос выхолаживает на $1,5^\circ$ в сутки. Следовательно, радиационный баланс атмосферы остается отрицательным. Чтобы сбалансировать величину этого охлаждения, необходим приток тепла от земной поверхности. Тепло от нее передается атмосфере испарением и турбулентной теплопроводностью.

Уравнение теплового баланса подстилающей поверхности выглядит следующим образом:

$$R = LE + P + A, \quad (1.2.24)$$

где R — радиационный баланс; LE — затрата тепла на испарение; P — затрата тепла на турбулентный теплообмен; A — теплообмен

поверхности с нижележащими слоями. Затрата тепла на испарение составляет основную расходную статью теплового баланса земной поверхности. Приток же тепла за счет конденсации водяного пара представляет основную приходную статью теплового баланса атмосферы. Испарение с земной поверхности связано с изыманием тепла от подстилающей поверхности и прилегающих к ней слоев воздуха и приводит к понижению температуры приземного слоя атмосферы. Влияние конденсации водяного пара на температуру атмосферы сказывается на уровне образования облаков и проявляется в повышении температуры.

В процессе освобождения скрытой теплоты конденсации атмосфера нагревается на всех широтах до большой высоты. В низких широтах эффект нагревания распространяется на всю тропосферу в результате интенсивного развития конвекции. В полярных широтах эффект нагревания атмосферы ограничен в основном нижней тропосферой, что объясняется отчасти устойчивостью атмосферы.

Второй расходной статьёй теплового баланса подстилающей поверхности и второй приходной статьёй теплового баланса атмосферы является турбулентный поток тепла между земной поверхностью и атмосферой, который еще называют *ощутимой*, или *явной* теплотой. Изменение температуры под воздействием притока *ощутимой* теплоты ограничено пограничным слоем, высота которого даже в низких широтах не превышает 3 км.

Обе приходные составляющие теплового баланса системы Земля — атмосфера — приток от подстилающей поверхности *скрытой* и *ощутимой* теплоты в сумме дают количество энергии, которое в совокупности с поглощенной атмосферой солнечной радиацией может быть больше или меньше необходимого для поддержания теплового равновесия столба в данной широтной полосе. Недостаток или избыток тепла приносится или уносится горизонтальными движениями в атмосфере и океанах.

Задание 1. Определите наименьшие и наибольшие высоты Солнца в полуденные часы на широтах от экватора до полюса через каждые $5-10^\circ$. При выполнении задания пользуйтесь формулой (1.2.1).

Задание 2. Определите, на каких широтах будет наблюдаться наибольшая высота Солнца в полуденные часы на 1 и 15 числа каждого месяца, используя таблицу склонения Солнца (табл. 1.2.1) и формулу (1.2.1).

Задание 3. Рассчитайте суточные суммы солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность верхней границы атмосферы и сделайте вывод о закономерностях их пространственно-временного распределения и следствиях для термического режима. Объясните выявленные закономерности.

Рекомендации к выполнению задания 3

1. При расчетах используйте формулы (1.2.1—1.2.5) и значения: $J_0 = 1,37$ кВт/м²; $t = 86,4$; $\varepsilon = 23,5$; $e = 0,017$; $\lambda = 0,15$; $30, \dots, 360$; $\varphi = 0, 10, \dots, 90^\circ$ с. и ю. ш.

2. Составьте программу расчета J_0 на микрокалькуляторе и предусмотрите, что в периоды полярного дня на широтах более $66,5^\circ \cos \tau < -1$, а в период полярной ночи $\cos \tau = 0$.

3. Контролем правильности составления программы является значение $J_0 = 36,96$, которое получается при $\lambda = 90^\circ$ и $\varphi = 10^\circ$.

4. Постройте графики годового хода для широт $0, 10, 20, 40, 60$ и 90° .

5. Постройте графики широтного распределения для дат равноденствий и солнцестояний.

6. Определите даты, начиная с которых суточные значения на полюсе равны или больше экваториальных.

7. Определите широты, на которых суточные значения превышают экваториальные. С какого момента времени это наблюдается?

8. Получите выражение для определения суточной инсоляции, в момент нахождения Солнца в точке равноденствия.

9. Сравните суточные суммы радиации в дни равноденствий и солнцестояний для северного и южного полушарий и объясните существующие различия.

Задание 4. Проанализируйте, как меняется значение J_0 на широтах $0, 40, 60, 90^\circ$ в периоды $\lambda = 0, 90, 180, 270$ при значениях: $J_0 = 1,27; 1,30; 1,33$ кВт/м², $e = 0; 0,0677$, $\varepsilon = 22,0; 25,0$, которые определяют крайние значения на земном шаре в зависимости от изменения астрономических факторов.

Задание 5. Используя данные о месячных суммах радиации на верхней границе атмосферы (табл. 1.2.2), проанализируйте особенности годового хода на различных широтах, а также пространственного распределения в отдельные месяцы.

Рекомендации к выполнению задания 5

1. Постройте графики годового хода на широтах $0, 10, 20, 40, 60$ и 90° и проанализируйте их. Какие типы годового хода можно выявить?

2. Постройте графики широтного распределения месячных сумм радиации для сентября, марта, мая, июня, августа и проанализируйте их.

3. Определите, с какого месяца существует двугорбовость в широтном распределении.

4. Обратите внимание на изменение широтного расположения максимумов и минимумов.

Задание 6. Рассчитайте и проанализируйте широтное (через 10°) изменение инсоляции за летнее и зимнее полугодия на верхней границе атмосферы.

Рекомендации к выполнению задания 6

1. Пользуясь значениями средней годичной инсоляции, приведенными в табл. 1.2.3, рассчитайте значения летней и зимней инсоляции на различных широтах по формулам (1.2.6) и (1.2.7).
 2. Рассчитайте и проанализируйте поведение средней инсоляции за астрономические полугодия в северном и южном полушариях. Постройте график зависимости величин Q_s/T_s , Q_w/T_w , Q_s/T_w , Q_w/T_s в зависимости от широты.
 3. Определите, как изменяется отношение средней годовой инсоляции на экваторе к средней годовой инсоляции на полюсе в зависимости от угла наклона экватора к эклиптике. Что можно сказать о степени зональности климата при различных углах наклона?
 4. Как изменяется разность сумм инсоляции за летний и зимний сезоны в зависимости от широты при углах наклона $\varepsilon = 22, 23,5, 25^\circ$? Что можно сказать об изменении сезонности климата при различных углах наклона?
 5. Определите, на какую величину должен изменяться угол наклона экватора к эклиптике, чтобы разность сумм инсоляции за летний и зимний сезоны на широте 30° стала бы на 10% меньше современного значения.
 6. Определите, для какой широты летней инсоляции к зимней превышает это отношение экватора в два раза.
- Задание 7.** Рассчитайте и проанализируйте величины инсоляции за калорические полугодия на различных широтах земного шара.

Рекомендации к выполнению задания 7

1. Используя формулы (1.2.10) и (1.2.11), вычислите суммы тепла на верхней границе атмосферы за калорические полугодия на широтах $0, 10, \dots, 90^\circ$ северного и южного полушарий.
2. Постройте график изменения сумм солнечного тепла с широтой, откладывая по оси ординат величины инсоляции за летнее и зимнее полугодия, а по оси абсцисс — значение широты в градусах.
3. Используя график и формулы (1.2.10) и (1.2.11), оцените различия в количествах тепла, получаемых одинаковыми широтами северного и южного полушарий в одноименные калорические полугодия. С чем связаны эти различия?
4. Постройте график различий в величинах инсоляции за летнее и зимнее калорические полугодия для одинаковых широт северного и южного полушарий как функции широты.
5. Оцените различия в величинах солнечной инсоляции за одноименное калорическое и астрономическое полугодия на заданной широте ($\varphi = 0, 10, 20, \dots, 90^\circ$). Постройте график этих различий как функцию широты.

6. Определите величины инсоляции за летнее и зимнее калорические полугодия на широтах 30—80° северного и южного полушарий в случае, если величина ϵ изменится с 22 до 25°.

7. Определите эквивалентную широту для 60° с. ш., если величина ϵ возрастает на 2° по сравнению с современным значением.

8. Определите, на какую величину должен измениться эксцентриситет, чтобы увеличение величины ϵ на 5% не привело к изменению инсоляции за летнее калорическое полугодие в северном полушарии.

Задание 8. Рассчитайте величины эффективного потока инфракрасной радиации в изотермической атмосфере на уровнях: $z=0$; 1,5; 3; 5; 7; 9 км и на широтах 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90°.

Рекомендации к выполнению задания 8

1. Запишите уравнение для изменения с высотой эффективного потока инфракрасной радиации для случая изотермической атмосферы.

2. Решите это уравнение при следующих граничных условиях: а) радиационный баланс у поверхности земли равен 0; б) температура у поверхности земли T_0 равна средней зональной температуре; в) на верхней границе атмосферы $\frac{dF}{dz} + F = 2B$.

3. Пользуясь одной из формул численного интегрирования, рассчитайте оптическую толщину $\tau(z) = \int_0^z \alpha_1 \rho_n(z) dz$, считая, что

поглощение осуществляется водяным паром. Массовая доля водяного пара воздуха для различных широт приведена в табл. 1.2.3.

При расчете необходимо использовать связь плотности водяного пара и массовой доли водяного пара $\rho_n(z)/\rho(z)$, где $\rho(z)$ — плотность воздуха.

Величину коэффициента поглощения α_1 принять равной $0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$.

4. Рассчитайте поток солнечной радиации у поверхности земли, учитывая ослабление ее в атмосфере по закону

$$S(0) = Q_* e^{-\alpha_z} \int_0^H \rho_n dz,$$

где H — верхняя граница атмосферы; $\alpha_z = 0,01 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ — коэффициент поглощения; Q_* — средняя для данной широты годовая сумма инсоляции на верхней границе атмосферы. Значения этой величины даны в табл. 1.2.3.

5. Рассчитайте значения эффективного потока инфракрасной радиации у поверхности земли в зависимости от широты. Необходимые для расчета значения альбедо приведены в табл. 1.2.3.

6. Постройте график изменения массовой доли водяного пара и эффективного потока инфракрасной радиации в зависимости от широты.

7. Рассчитайте величины эффективного потока инфракрасной радиации на отдельных высотах.

8. Постройте график изменения массовой доли водяного пара и эффективного излучения инфракрасной радиации с высотой.

9. Постройте график изменения с широтой проинтегрированного по вертикали эффективного потока инфракрасной радиации.

10. Определите, как изменится величина эффективного потока инфракрасной радиации в изотермической атмосфере, если альbedo подстилающей поверхности увеличится на 20%.

11. Определите, к какому изменению альbedo подстилающей поверхности должно привести увеличение приземной температуры на 20°C , чтобы проинтегрированный по вертикали эффективный поток инфракрасного излучения не изменился.

Задание 9. Рассчитайте величины эффективного инфракрасного потока в подоблачном слое атмосферы для широт $0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90^\circ$.

Рекомендации к выполнению задания 9

1. Запишите уравнение для изменения эффективного потока инфракрасной радиации F , используя в качестве независимой переменной координату z . При этом используются следующие формулы:

$$\frac{dF}{dz} = \frac{1}{\alpha_1 \rho_n} \frac{dF}{dz},$$

$$\frac{d^2F}{dz^2} = \frac{1}{\alpha_1^2 \rho_n^2} \frac{d^2F}{dz^2} - \frac{1}{\alpha_1^2 \rho_n^2} \frac{d\rho_n}{dz} \frac{dF}{dz},$$

где $\rho_n = \rho_0$, $\rho_0 = 7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Задавая линейное изменение температуры с высотой $T(z) = T(0) - \gamma z$, выведите выражение для $\frac{dB(z)}{dz}$, $\gamma = 0,6^\circ\text{C}/100 \text{ м}$.

2. Решите полученное уравнение при следующих граничных условиях:

у поверхности земли

$$a) F = S(0) = (1 - r)(1 - an - bn^2),$$

где $S(0)$ — поток солнечной радиации на земной поверхности,

$$S(0) = Q_* e^{\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \tau_H};$$

$\alpha_2 = 0,01 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$; $\alpha_1 = 0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$; Q_* — годовая сумма инсоляции; n — балл облачности в долях единицы; r — альbedo подстилающей поверхности. Q_* , n , r берутся из табл. 1.2.3; $b = 0,38$; a — коэффициент, зависящий от широты; значения множителя $1 - an - bn^2$ можно найти в табл. 1.2.6.

б) $B = \sigma T_0^4$.

Здесь σ — постоянная Стефана — Больцмана, равная $5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴, T_0 — средняя зональная температура подстилающей поверхности (см. табл. 1.2.3).

в) поток нисходящей длинноволновой радиации, излучаемой облаками, может быть рассчитан по формуле

$$G = n \sigma T_n^4,$$

где T_n — температура нижней границы облака.

3. Для определения нижней границы облаков нужно воспользоваться формулой $h = 122 \Delta_0$, где Δ_0 — дефицит точки росы.

4. Постройте график изменения эффективного потока инфракрасной радиации с высотой.

5. Рассчитайте величины эффективного излучения, проинтегрированного по высоте (от поверхности земли до нижней границы облачности), на различных широтах северного полушария.

6. Постройте график проинтегрированного по высоте эффективного потока инфракрасной радиации как функции широты.

7. Рассчитайте изменение с широтой эффективного потока инфракрасной радиации в случае безоблачной атмосферы. За верхнюю границу атмосферы принять уровень $H = 9$ км.

Граничное условие при $H = 9$ км $G_{H=9} = 0$.

8. Сравните данные расчетов для облачной и безоблачной атмосферы.

9. Определите, как изменится величина эффективного потока инфракрасного излучения на уровне $z = 1$ км при увеличении облачности на 5 баллов.

10. Определите, как изменится величина эффективного потока инфракрасного излучения на уровне $z = 1$ км при увеличении дефицита точки росы на 20%.

11. Определите, как должно измениться значение облачности, чтобы изменение альбедо подстилающей поверхности на 10% не привело бы к изменению потока эффективного излучения, проинтегрированного по вертикали.

Задание 10. Используя данные о месячных возможных при безоблачном небе суммах суммарной радиации (табл. 1.2.4), проанализируйте особенности годового хода на различных широтах, а также пространственного распределения в отдельные месяцы. Определите существующие различия в распределении сумм суммарной радиации в северном и южном полушариях, а также с суммами радиации на верхней границе атмосферы. Насколько ослабляется радиация в атмосфере? (см. рекомендации к упражнению 5).

Задание 11. Проанализируйте пространственное распределение годовых значений средних широтных сумм составляющих радиационного и теплового балансов поверхности земли (табл. 1.2.5). Для облегчения анализа постройте графики широтного распределения величин.

Задание 12. Рассчитайте для выбранных станций месячные значения суммарной радиации при реальных условиях облачности и проанализируйте особенности их годового хода.

Рекомендации к выполнению задания 12

1. Расчет выполнить по уравнению (1.2.12).
2. Значения Q_0 взять из табл. 1.2.4.
3. По значению облачности в долях единицы, взятому из Справочника по климату СССР, ч. V, найти по табл. 1.2.6 величину поправки $1 - an - bn^2$.
4. Постройте график годового хода.

Задание 13. Рассчитайте месячные значения поглощенной радиации и проанализируйте особенности их годового хода.

Рекомендации к выполнению задания 13

1. Расчет выполните по формуле

$$Q_n = Q(1 - r),$$

где Q — значения суммарной радиации, вычисленные в задании 12; r — альbedo подстилающей поверхности, определенное по табл. 1.2.7.

Задание 14. Рассчитайте месячные значения радиационного баланса без учета поправки к эффективному излучению.

Рекомендации к выполнению задания 14

1. Расчет выполните по формуле

$$R = Q(1 - r) - B_{эф},$$

где $B_{эф}$ — эффективное излучение при реальных условиях облачности.

2. $B_{эф} = B_0(1 - cn) + \Delta B$; B_0 — эффективное излучение при безоблачном небе может быть определено с помощью табл. 1.2.8 по значению средних месячных температур и парциального давления воздуха, взятых из Справочника по климату СССР, ч. II, IV; n — облачность в долях единицы; c — коэффициент, характеризующий влияние облачности и зависящий от широты; ΔB — поправка к эффективному излучению, определяемая косвенным путем. Значения множителя $1 - cn$ взять из табл. 1.2.9.

Задание 15. Рассчитать месячные значения затрат тепла на теплообмен в почве, определить температуру на ее поверхности и проанализировать особенности их годового хода.

Рекомендации к выполнению задания 15

1. При определении месячных значений теплооборота в почве используется формула

$$A = A_{\text{макс}} \cdot k,$$

где $A_{\text{макс}}$ — максимальное значение (в долях единицы) теплооборота в почве, зависящее от величины годовой амплитуды температуры воздуха (табл. 1.2.10); k — эмпирические коэффициенты, показывающие вклад теплооборота данного месяца в максимальный теплооборот (табл. 1.2.11).

2. Температура подстилающей поверхности T_n определяется по выражению

$$T_n = T_v + \Delta T,$$

где T_v — температура воздуха; ΔT — разность между температурой поверхности почвы и температурой воздуха.

3. Значения ΔT определяются по специальным таблицам (см. табл. 1.2.12), по величине $R_0 - A - d$, где d — дефицит влажности, который может быть определен как разность между максимальным при данной средней месячной температуре воздуха парциальном давлении водяного пара (определяется по психрометрическим таблицам) и фактическим средним месячным значением парциального давления; R_0 — радиационный баланс без учета поправки к эффективному излучению. R_0 выразите в ккал, разделив полученные выше значения на 41,86.

Задание 16. Рассчитайте месячные значения затрат тепла на испарение и проанализируйте особенности их годового хода.

Рекомендации к выполнению задания 16

1. Расчет испарения выполняется по формулам

$$E = E_0 \text{ при } w = w_0,$$

$$E = E_0 \cdot \frac{w}{w_0} \text{ при } w < w_0,$$

где E_0 — испаряемость, см; $w = (w_1 + w_2)/2$ — среднее месячное значение продуктивной влаги в почве в начале w_1 и в конце w_2 месяца; w_0 — критическое значение продуктивной влаги в почве, при котором испарение равно испаряемости.

2. Испаряемость рассчитывается по формулам

$$E_0 = 1,25 (e_s - e) \text{ при } R_0 > 0,$$

$$E_0 = 0,80 d \text{ при } R_0 < 0.$$

где e_s — максимальное парциальное давление водяного пара, определенное по температуре подстилающей поверхности (находится по психрометрическим таблицам); e — среднее месячное зна-

чение парциального давления водяного пара; d — дефицит водяного пара.

3. Значение w_0 находится в зависимости от времени года и климатических условий (табл. 1.2.13).

4. Для первого расчетного месяца, в котором средняя месячная температура воздуха положительна, w_1 задается, а w_2 рассчитывается по выражению

$$w_2 = \frac{1}{1 + \frac{E_0}{2w_0}} \left[w_1 \left(1 - \frac{E_0}{2w_0} \right) + r - f \right],$$

для месяцев, когда $w < w_0$, и по выражению

$$w_2 = w_1 + r - f - E_0$$

для месяцев, когда $w > w_0$.

Здесь r — сумма осадков за все месяцы с отрицательной температурой и за сам расчетный месяц (средние месячные суммы осадков берутся из Справочника по климату СССР. Ч. IV); f — величина годового стока, который может быть определен по карте.

5. Для последующих месяцев w_1 расчетного месяца берется равной w_2 предыдущего месяца, а для сухих районов сток принимается равным нулю.

6. Если w_1 первого расчетного месяца подобрано верно, то должно выполняться соотношение для годовых значений:

$$r = E + f.$$

Если оно не выполняется, то следует выбрать другое w_1 и вновь произвести расчеты.

7. Значения затрат тепла на испарение определяются умножением E на скрытую теплоту испарения $L = 25,014$ МДж/м².

✓Задание 17. Рассчитать поправку к эффективному излучению, полный радиационный баланс и затраты тепла на турбулентный теплообмен. Исследовать особенности годового хода месячных значений радиационного баланса и турбулентного теплообмена.

Рекомендации к выполнению задания 17

1. Поправка к эффективному излучению определяется по выражению $\Delta B = 0,4(R_0 - LE - A)$ для лета и по выражению $\Delta B = 0,5(R_0 - LE - A)$ для зимы.

2. Полный радиационный баланс $R = R_0 + \Delta B$.

3. Значение турбулентного теплообмена P находится как остаточный член уравнения теплового баланса $P = R - LE - A$.

Задание 18. Проанализируйте карты годовых, июньских и декабрьских значений суммарной солнечной радиации (рис. 1) и ответьте на вопросы:

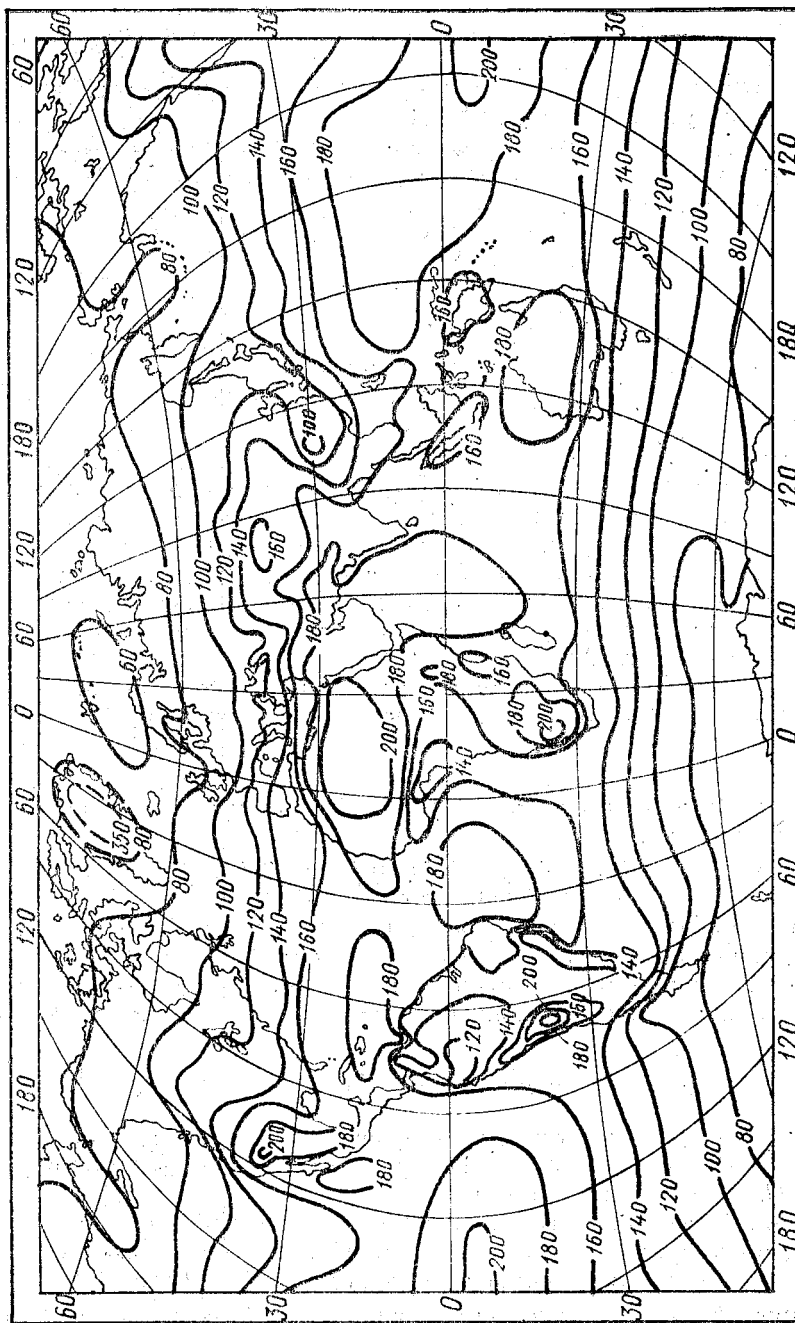


Рис. 1. Годовые значения суммарной радиации (ккал/см² · год)
 Примечание к рис. 1—4: 1 ккал/см² = 41,87 МДж/м².

1. В каком диапазоне меняются числовые значения суммарной радиации?

2. В каких районах наблюдаются экстремальные значения и чем это обусловлено?

3. В каких районах отмечается зональность в распределении суммарной радиации, где зональность отсутствует и почему происходит это нарушение? С чем связан излом в ходе изолиний при переходе с океана на континент и наоборот?

4. В каких районах отмечается значительный вклад рассеянной радиации в суммарную?

5. Какие типы годового хода известны?

6. Какова изменчивость месячных и годовых значений суммарной радиации?

7. Чем отличается распределение поглощенной радиации от суммарной?

Задание 19. Проанализируйте карты годовых, июньских и декабрьских значений радиационного баланса подстилающей поверхности (рис. 2) и ответьте на вопросы:

1. В каком диапазоне меняются числовые значения радиационного баланса? В каких районах наблюдаются экстремальные значения и совпадают ли по широтам на суше и океане?

2. Имеется ли нарушение в зональности распределения? Почему это происходит?

3. Совпадают ли очаги экстремальных значений суммарной радиации и радиационного баланса? Если не совпадают, то почему.

4. Различаются ли значения радиационного баланса на суше и океанах?

5. Какие типы годового хода известны?

6. Какова изменчивость годовых и месячных значений радиационного баланса?

7. Какова роль радиационного баланса в климатообразовании?

8. Какую долю от суммарной радиации он составляет?

Задание 20. Проанализируйте карту годовых значений затрат тепла на испарение (рис. 3) и ответьте на вопросы:

1. Какова роль испарения в климатообразовании?

2. Какая часть радиационного баланса тратится на испарение?

3. В каком диапазоне меняются годовые значения затрат тепла на испарение? В каких районах и почему наблюдаются экстремальные значения? Почему различается испарение на суше и океанах?

4. Из каких сумм складываются годовые значения испарения на суше и океанах?

5. Почему очаги максимальных значений испарения находятся у восточных берегов континентов?

6. Какие типы годового хода испарения известны?

Задание 21. Проанализируйте карту годовых значений затрат тепла на турбулентный теплообмен (рис. 4) и ответьте на вопросы:

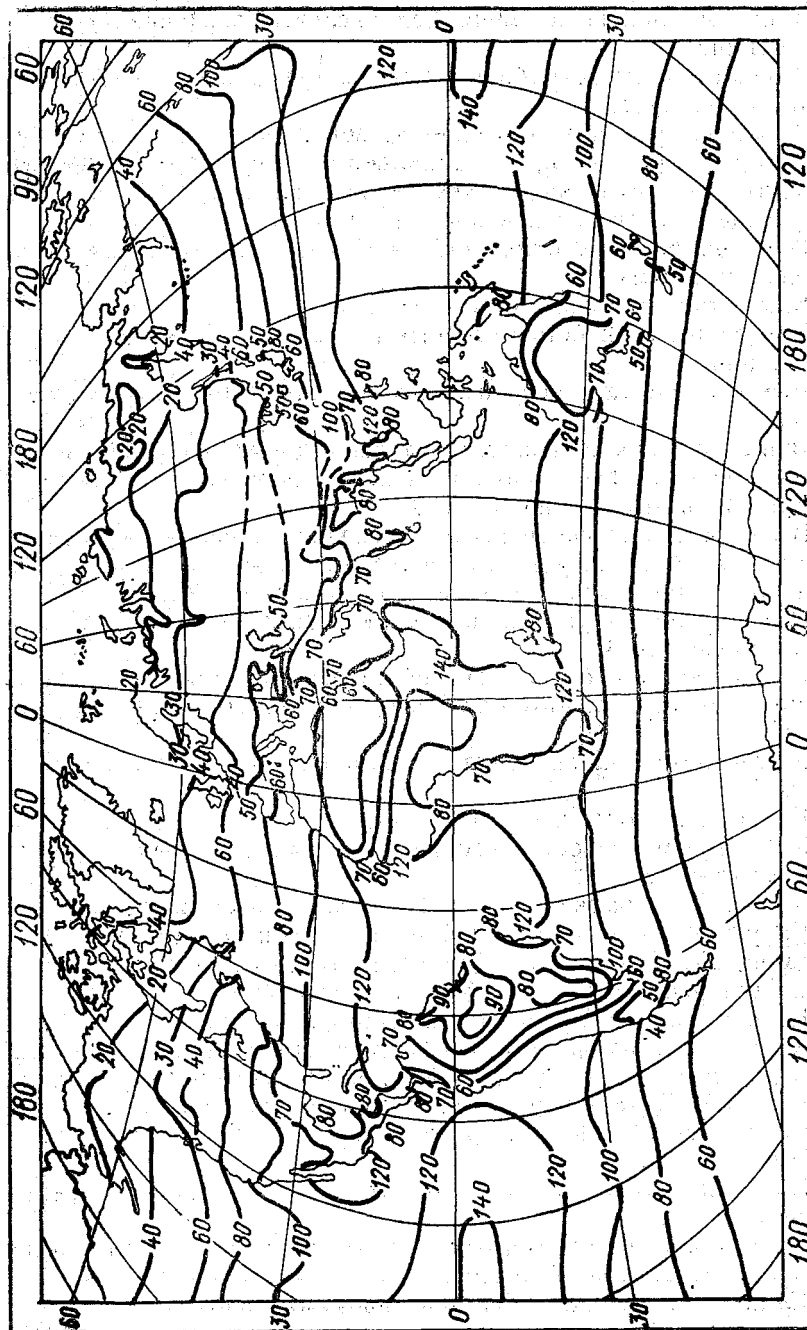


Рис. 2. Годовые значения радиационного баланса подстилающей поверхности (ккал/см² · год)

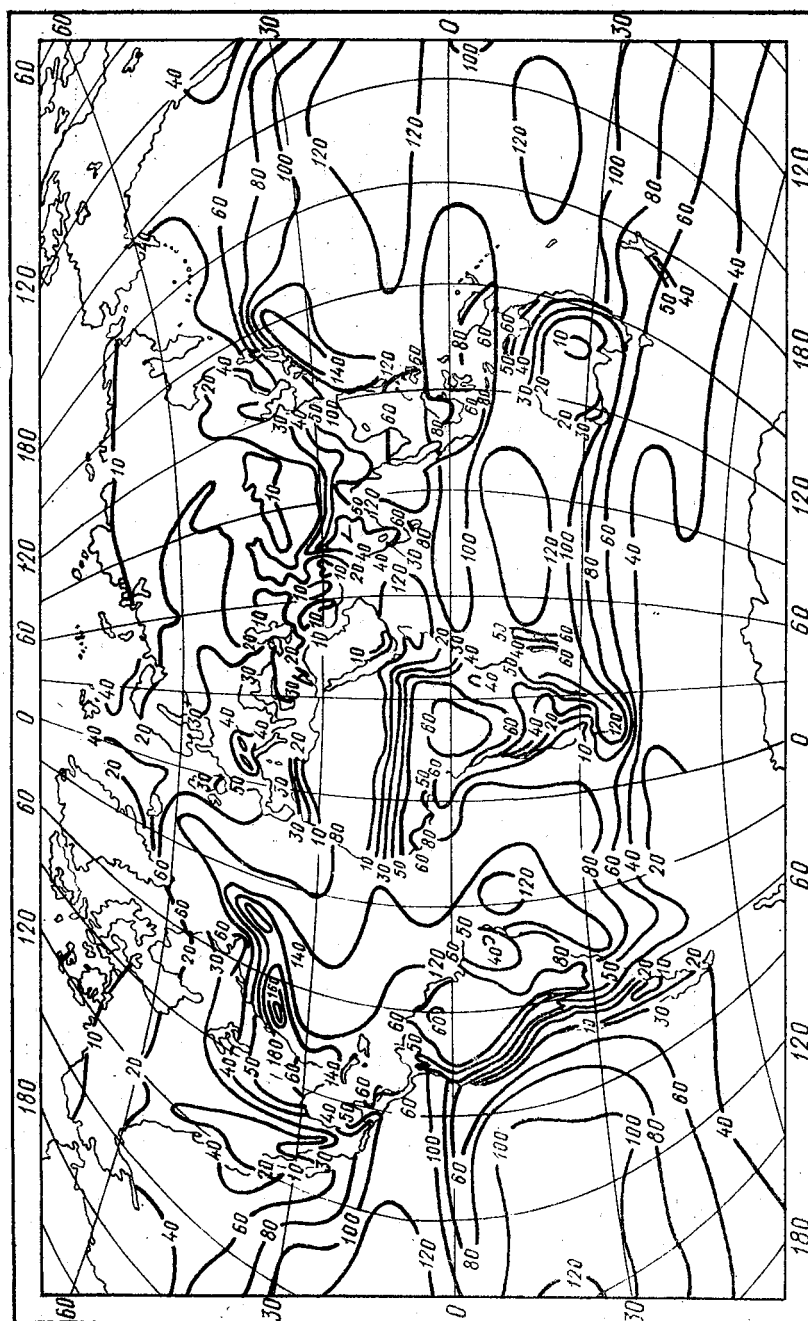


Рис. 3. Годовые значения затрат тепла на испарение (ккал, см² · год)

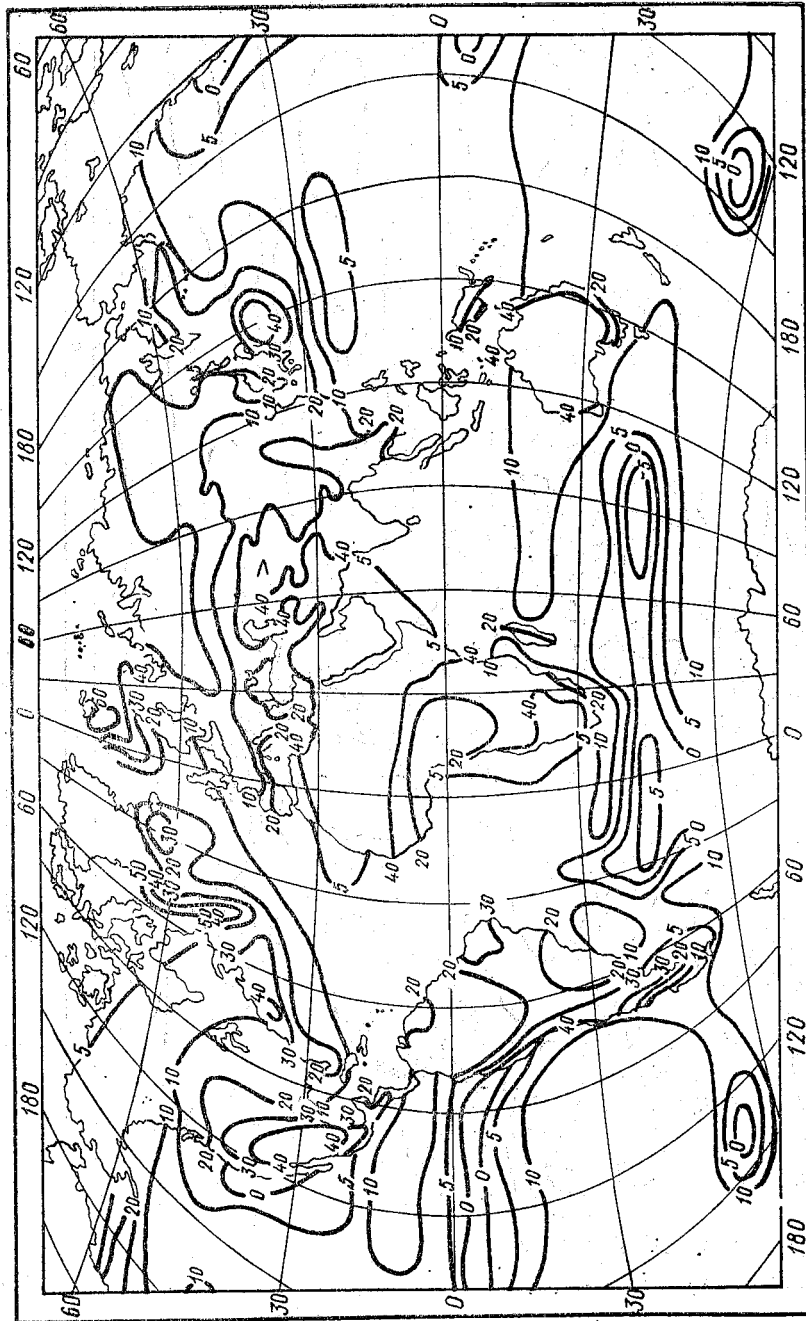


Рис. 4. Годовые значения затрат тепла на турбулентный теплообмен (ккал/см²·год)

1. Какова роль турбулентного теплообмена в климатообразовании?

2. Какая часть радиационного баланса тратится на турбулентный теплообмен?

3. В каком диапазоне меняются годовые значения P ? В каких районах и почему наблюдаются экстремальные значения? Почему различаются его значения на суше и океанах?

4. Из каких сумм складываются годовые значения P на океанах и суше?

5. Почему очаги максимальных значений находятся у восточных берегов континентов?

6. Какие типы годового хода p известны?

Задание 22. Проанализируйте таблицы 1.2.14—1.2.16 и сделайте вывод об особенностях радиационного режима верхней атмосферы.

Задание 23. Проанализируйте табл. 1.2.17 и сделайте вывод об особенностях широтного распределения радиационного баланса атмосферы и системы Земля — атмосфера.

Задание 24. Проанализируйте табл. 1.2.18 и сделайте вывод об особенностях годового хода составляющих радиационного баланса в различных районах СССР. Какую часть от суммарной радиации составляет радиационный баланс?

Вопросы для самопроверки

1. Почему солнечная энергия является основным источником тепла для Земли?

2. Что такое соллярный климат и как можно его оценить?

3. Каковы основные закономерности в распределении суточных, месячных, сезонных и годовых сумм солнечной радиации на верхней границе атмосферы? Почему в южном полушарии летние суммы больше, а зимние меньше, чем в северном?

4. На сколько безоблачная атмосфера уменьшает поток солнечной радиации?

5. Чем определяется приход суммарной солнечной радиации к подстилающей поверхности и каковы закономерности ее пространственно-временного распределения? Какие типы годового хода встречаются на земном шаре?

6. В каких районах земного шара рассеянная радиация превышает прямую?

7. Какова роль альбедо в климатообразовании?

8. Какова роль эффективного излучения в климатообразовании?

9. Какова роль радиационного баланса в климатообразовании? Особенности его пространственного и временного распределения. Особенности годового хода в различных климатических зонах.

10. Как записывается уравнение теплового баланса?

11. Какова роль испарения в климатообразовании? Как распределяются затраты тепла на испарение во времени и в про-

странстве? Какие типы годового хода встречаются на земном шаре?

12. Какова роль затрат тепла на турбулентный теплообмен в климатообразовании? Каковы особенности пространственного и временного распределения? Какие типы годового хода встречаются на земном шаре?

13. Какова роль радиационного баланса системы Земля — атмосфера в климатообразовании? Радиационные пояса Земли.

14. Какова роль теплового баланса системы Земля — атмосфера в климатообразовании?

15. Какие четыре радиационные зоны можно выделить в каждом полушарии исходя из соотношений теплового баланса системы Земля — атмосфера?

Таблица 1.2.1

Склонение Солнца (град. и мин.)

Числа	Месяцы					
	I	II	III	IV	V	VI
1	—23,02	—17,11	—7,41	4,26	15,00	22,01
5	—22,39	—16,00	—6,09	5,58	16,11	22,31
10	—22,00	—14,26	—4,13	7,51	17,01	23,00
15	—21,20	—12,46	—2,15	9,40	18,48	23,18
20	—19,58	—10,39	0,08	11,46	20,08	23,27
25	—19,02	—9,11	1,42	13,06	20,54	23,24

Числа	Месяцы					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	23,08	18,05	8,23	—3,05	—14,20	—21,46
2	22,49	17,03	6,55	—4,37	—15,37	—22,20
10	22,16	15,39	5,03	—6,32	—17,04	—22,53
15	21,34	14,08	3,08	—8,25	—18,25	—23,15
20	20,32	12,13	0,49	—10,36	—19,51	—23,26
25	19,43	10,51	—0,45	—12,00	—20,42	—23,24

Примечание. Дни равноденствия — 21.III, 23.IX. $\delta=0$. Дни солнцестояний — 22.VI, $\delta=23,5^\circ$, 22.XII. $\delta=-23,5^\circ$.

Таблица 1.2.2

Широтное распределение радиации,
поступающей на верхнюю границу атмосферы, МДж/м²

Широта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
90	0	0	42	577	1099	1325	1212	802	192	0	0	0
80	0	0	134	598	1083	1308	1204	802	284	29	0	0
70	4	92	330	702	1049	1241	1145	836	472	171	17	0
60	109	255	514	815	1083	1212	1145	920	635	351	150	71
50	276	435	677	932	1137	1229	1187	1024	782	527	326	234
40	460	610	819	1028	1174	1237	1204	1091	907	694	493	414
30	639	769	940	1091	1183	1221	1204	1133	1003	848	677	594
20	803	911	1028	1120	1162	1175	1170	1145	1070	961	840	769
10	953	1024	1091	1120	1129	1120	1120	1120	1108	1053	978	928
0	1074	1108	1116	1083	1028	991	1012	1062	1108	1116	1087	1057

Таблица 1.2.3 а

Зональные значения массовой доли водяного пара q (‰)
на изобарических поверхностях (Северное полушарие)

Уровень, гПа	Широта, °									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Январь

1000	17,6	15,5	11,2	7,6	4,9	2,9	1,8	0,9	0,6
850	10,7	9,0	6,4	4,1	2,9	1,9	1,3	0,9	0,7
700	6,0	4,2	2,9	2,2	1,5	1,1	0,8	0,6	0,5
500	2,2	1,4	1,0	0,8	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
300	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Июль

1000	17,1	17,4	16,6	14,4	12,2	8,3	7,1	5,7	4,9
850	10,6	11,0	10,4	8,8	7,5	6,3	5,3	4,2	3,6
700	6,0	6,1	5,6	5,3	4,4	3,7	3,1	2,5	2,2
500	2,0	2,4	2,2	2,0	1,6	1,2	1,0	0,8	0,7
400	0,9	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3
300	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 1.2.3

Зональные значения годичной инсоляции Q_* , альbedo r , температуры T_0 , массовой доли водяного пара q_0 , давления P_0 и облачности n

Параметр	Широта, °									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Q_* ГДж/м ²	13,2	13,04	12,49	11,64	11,45	9,05	7,51	6,25	5,65	5,47
r %	38	36	38	40	45	46	57	60	72	76
T_0 °C	26,4	26,9	26,0	21,5	14,6	5,5	-0,6	-9,2	-15,5	-19,4
q_0 %	17,4	16,5	13,9	11,0	8,1	6,1	4,4	3,3	2,7	1,8
P_0 гПа	1010	1011	1013	1017	1017	1014	1012	1013	1013	1010
n баллы	5,5	5,3	4,5	4,4	5,3	5,2	6,5	5,2	4,1	4,5

Таблица 1.2.4

Широтное распределение суммарной радиации при безоблачном небе
 Q_0 МДж/м² · мес.

Широта, °	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
90° с. ш.	0	0	13	42	870	1080	1013	586	100	0	0	0
80	0	0	100	435	854	1042	946	594	192	21	0	0
70	0,1	59	238	527	816	955	888	615	314	113	13	0
60	75	180	393	624	829	929	879	673	456	255	100	46
50	201	318	536	724	875	946	913	762	586	406	230	167
40	343	469	653	812	921	967	938	842	687	536	368	306
30	481	586	737	858	929	955	938	875	766	636	511	444
20	611	695	800	871	904	913	908	875	812	723	636	582
10	720	779	846	867	846	833	842	858	846	800	737	699
0	812	842	867	837	783	754	762	816	846	854	825	800
10° ю. ш.	888	875	862	779	695	653	670	741	825	875	892	888
20	938	892	829	699	594	536	565	653	783	862	929	946
30	967	879	762	594	469	410	431	548	712	833	942	996
40	984	846	670	490	347	276	310	423	607	770	934	1030
50	975	791	573	368	222	151	176	285	490	695	913	1034
60	967	712	443	234	100	42	67	159	356	590	875	1017
70	980	632	306	92	8	0	0	42	205	486	892	1076
80	1022	599	201	4	6	0	0	0	84	406	917	1147
90	1055	590	126	0	0	0	0	0	13	368	929	1172

Таблица 1.2.5

Широтное распределение составляющих теплового баланса поверхности Земли
(МДж/м² · год)

Широта, °	Суша				Океаны				Земля			
	Q	R	LE	P	Q	R	LE	P	Q	R	LE	P
90—80 с. ш.	3180				2930				2970			
80—70	3270				2930				3060			
70—60	3520	920	670	250	3140	960	1290	920	3430	920	840	460
60—50	4190	1340	960	380	3730	1790	1960	800	4020	1550	1380	540
50—40	5320	1880	1050	840	4730	2670	1800	670	5060	2260	1880	750
40—30	6490	2420	960	1460	5960	3760	4710	590	6200	3180	2720	960
30—20	7330	2670	790	1880	7030	4640	4560	290	7160	3930	3140	880
20—10	7580	3100	1340	1750	7410	5060	4900	290	7450	4560	3980	670
10—0	6620	3300	2380	920	7410	5180	4350	290	7240	4770	3890	420
0—10 ю. ш.	6280	3300	2550	750	7580	5310	4150	250	7280	4860	3770	380
10—20	6910	3140	1880	1250	7410	5100	4730	380	7280	4690	4100	590
20—30	7240	2970	1170	1800	6910	4560	4430	460	6950	4200	3680	750
30—40	6740	2590	1210	1380	6030	3850	3430	460	6070	3680	3180	590
40—50	5100	1840	920	920	4860	3010	2130	250	4860	2970	2090	290
50—60	3600	1460	920	540	3640	1920	1460	380	3640	1920	1470	380
60—70	4060				3100				3220			
70—80	4140				3220				3850			
80—90	4100								4100			
В целом	5780	2090	1130	960	6030	3810	3430	380	5440	3310	2760	540

Таблица 1.2.6

Значения множителя $1 - an - bn^2$ для расчета суммарной радиации ($\times 10^3$)

n	Широта, °																
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
0,1	958	956	956	957	959	961	960	958	958	956	955	956	960	971	978	980	981
0,2	909	905	905	907	911	915	913	909	909	905	903	905	913	935	949	953	955
0,3	852	846	846	849	855	861	858	852	852	846	843	846	852	891	912	918	921
0,4	777	779	779	773	791	799	795	777	777	779	775	779	795	839	867	875	879
0,5	715	705	705	710	720	730	725	715	715	705	700	705	725	780	815	825	830
0,6	635	623	623	629	641	653	647	635	635	623	617	623	647	713	755	767	773
0,7	548	534	534	541	555	569	562	548	548	534	527	534	562	639	688	702	709
0,8	453	437	437	445	461	477	469	453	453	437	429	437	469	557	613	629	637
0,9	350	332	332	341	359	377	368	350	350	332	323	332	368	467	530	548	557
1,0	240	220	220	230	250	270	260	240	240	220	210	220	260	370	440	460	470

Альbedo естественных поверхностей суши

Таблица 1.2.7

Вид поверхности	Аль- bedo
Устойчивый снежный покров в высоких широтах ($>60^\circ$)	0,80
Устойчивый снежный покров в умеренных широтах ($<60^\circ$)	0,70
Лес при устойчивом снежном покрове	0,45
Неустойчивый снежный покров весной	0,38
Лес при неустойчивом снежном покрове весной	0,25
Неустойчивый снежный покров осенью	0,50
Лес при неустойчивом снежном покрове осенью	0,30
Степь и лес в период между сходом снежного покрова и переходом средней суточной температуры через 10°C	0,13
Тундра в период между сходом снежного покрова и переходом средней суточной температуры воздуха через 10°C	0,18
Тундра, степь, лиственный лес в период весеннего перехода температуры через 10°C и до появления снежного покрова	0,18
Хвойный лес в период от весеннего перехода температуры через 10°C и до появления снежного покрова	0,14
Пустыня	0,28

Примечание. Для месяцев, в течение которых состояние подстилающей поверхности резко изменяется, альbedo определяют как среднее взвешенное значение путем суммирования произведений альbedo на соответствующее число дней с этим альbedo и деления этой суммы на общее число дней в месяце.

Таблица 1.2.8

Эффективное излучение при безоблачном небе, МДж/м^2

Температура воздуха, $^\circ\text{C}$	Парциальное давление водяного пара, гПа											
	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25
30	314	310	293	285	268	255	243	230	218	205	193	163
25	293	289	276	264	251	243	230	218	205	193	180	151
20	272	268	255	247	234	226	213	201	193	180	167	142
15	255	251	243	230	222	209	201	188				
10	239	234	226	218	205	197	184					
0	205	201	193	188								
-5	193	188	180									
-10	180	176										
-15	163	163										
-20	151	151										

Таблица 1.2.9

Значения множителя k — cm для расчета эффективного излучения ($\times 10^3$)

n	Широта, °													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	80
0,1	950	948	945	943	941	939	937	935	932	930	928	926	924	916
0,2	900	896	890	886	882	878	874	870	864	860	856	852	848	832
0,3	850	844	835	829	823	817	811	805	796	790	784	778	772	748
0,4	800	792	780	772	764	756	748	740	728	720	712	704	696	654
0,5	750	740	725	715	705	695	685	675	660	650	640	630	620	570
0,6	700	688	670	658	646	634	622	610	592	580	568	556	544	486
0,7	650	636	615	601	587	573	559	545	524	510	496	482	468	402
0,8	600	584	560	544	528	512	496	480	456	440	424	408	392	318
0,9	550	532	505	487	469	451	433	415	388	370	352	334	316	234
1,0	500	480	450	430	410	390	370	350	320	300	280	260	240	150

Таблица 1.2.10

Значения $A_{\max}$ (в долях единицы) в зависимости от годовой амплитуды температуры воздуха

Годовая амплитуда, °C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
$A_{\max}$	0,18	0,36	0,52	0,66	0,84	1,0	1,12	1,25	1,39	1,51	1,60	1,68	1,74

Значения $k = A/A_{\text{макс}}$ для различных месяцев

Таблица 1.2.11

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\varphi > 60^\circ$	-0,76	-0,54	-0,29	0,03	0,58	1,10	1,10	0,95	-0,14	-0,48	-0,72	-0,78
$\varphi < 60^\circ$	-0,82	-0,64	0,03	1,00	1,00	0,91	0,55	0,26	-0,15	-0,52	-0,78	-0,85

Значения $\Delta T = T_a - T$

Таблица 1.2.12

$R_0 - A - d$																
Температура воздуха, °C																
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-10		-3,8	-2,8	-1,8	-0,8	0,2	1,2	2,3	3,3	4,3						
0		-3,4	-2,5	-1,6	-0,7	0,2	1,0	1,9	2,8	3,6	4,3					
10	-3,4	-2,7	-2,0	-1,2	-0,5	0,2	0,8	1,5	2,2	2,9	3,6	4,1				
20	-2,6	-2,0	-1,5	-0,8	-0,4	0,1	0,6	1,2	1,7	2,2	2,7	3,2	3,7	4,1		
30	-1,8	-1,4	-1,0	-0,6	-0,2	0,1	0,4	0,8	1,2	1,5	1,9	2,2	2,6	3,0	3,3	3,6
35	-1,6	-1,2	-0,8	-0,5	-0,2	0,1	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0

Таблица 1.2.13

Значения w_0 (см) в зависимости от климатических условий и времени года

Климатические условия	w_0
Весной при температуре воздуха менее 10°С	20
При температуре воздуха более 10°С для условий влажного климата ($\frac{E_0}{r} < 1,3$ за год)	15
При температуре воздуха более 10°С для условий сухого климата ($\frac{E_0}{r} > 1,3$)	10
Осенью при температуре воздуха менее 3°С для сухого климата	15
Для районов с мягкой зимой при температуре осенних месяцев от 3 до 0°С	10

Таблица 1.2.14

Разность между годовыми значениями возможной продолжительности солнечного сияния (часы) на высоте 30 км и уровне Земли

Широта, °	0	23,5	45	55	66,5	80	90
Разность, (часы)	258	285	386	521	827	661	625

Таблица 1.2.15

Межширотная разность годовых значений
возможной продолжительности солнечного сияния (часы)
на разных широтах

Разность широт	Высота, км			
	0	10	20	30
90—0	156	365	455	523
66,5—0	229	596	715	798
66,5—90	73	231	260	275

Таблица 1.2.16

Разность в возможной продолжительности солнечного сияния (часы)
на высоте 30 км и уровне земли

Широта, °	Число и месяц									
	1. II	4. II	9. II	18. II	4. III	5. III	20. III	22. III	2. IV	14. IV
90	0	0	0	0	0	24	24	0	0	0
80	0	0	4	8	4,1	4,0	4,0	4,1	8,0	0
66,5	0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0

Таблица 1.2.17

Широтное распределение радиационного баланса атмосферы R_a
и системы Земля — атмосфера R_s (МДж/м²·год)

Полушарие	Широта, °						
	70—60	60—50	50—40	40—30	30—20	20—10	10—0
R_a с. п.	—2930	—2510	—3430	—3180	—3100	—3100	—2680
R_s с. п.	—2050	—1260	—500	170	590	960	1210
ю. п.		—1210	—300	380	840	1170	1300

Таблица 1.2.18

Годовой ход составляющих радиационного баланса, МДж/м²

Величина	М е с я ц ы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
м. Желания													
Q	0	4	100	347	582	594	431	251	84	13	0	0	2399
r		74	80	80	79	57	17	19	61	71			53
Q(1-r)	0	0	21	71	121	255	356	205	50	4	0	0	1084
R	-88	-80	-54	-13	63	138	301	167	13	-50	-75	-83	322
Ленинград													
Q	21	67	218	339	498	509	561	414	234	75	25	8	3031
r	60	58	40	16	13	17	17	18	18	19	35	50	19
Q(1-r)	8	29	130	285	435	473	465	339	201	63	17	4	2440
R	-21	-13	50	188	289	343	322	205	100	8	-13	-25	147
Сочи													
Q	134	201	306	423	603	716	745	670	473	347	197	126	4939
r	26	28	20	20	21	21	21	22	22	23	25	24	22
Q(1-r)	100	147	243	339	477	565	590	523	368	268	147	96	3445
R	17	33	134	205	318	414	431	343	213	117	33	4	3939
Салехард													
Q	8	63	234	440	561	607	607	393	184	84	21	0	3202
r	82	83	80	70	36	18	20	21	24	59	79	80	37
Q(1-r)	0	13	46	130	360	498	486	310	138	33	4	0	2018
R	-42	-38	-33	4	234	335	327	197	71	-13	-46	-46	942
Целиноград													
Q	138	243	419	490	620	699	682	553	393	213	126	92	4667
r	68	73	56	21	18	18	19	19	19	24	52	69	29
Q(1-r)	46	67	184	385	507	573	553	448	318	163	59	29	3332
R	-13	-4	75	234	327	377	360	280	184	71	-4	-29	1850

Продолжение табл. 1.2.18

Величина	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ашхабад													
Q	230	297	423	553	749	808	825	774	620	456	272	201	7045
r	27	27	25	23	24	25	27	28	30	29	26	27	26
Q(1-r)	167	218	318	427	582	607	603	557	431	322	201	147	4579
R	54	84	146	218	314	322	318	264	193	117	54	25	2110
Верхоянск													
Q	8	63	251	486	628	657	594	435	226	96	17	0	3470
r	81	86	84	79	31	19	18	19	25	67	82		38
Q(1-r)	0	8	42	100	431	532	486	352	167	33	4	0	2156
R	-21	-21	-21	4	251	322	293	289	54	-29	-25	-25	996
Хабаровск													
Q	188	280	469	519	632	661	615	511	402	301	201	151	4931
r	62	55	49	24	17	19	21	21	22	25	39	59	28
Q(1-r)	84	130	243	402	527	536	494	406	318	230	130	71	3571
R	-38	13	100	230	381	385	356	280	188	75	-21	-50	1900
Уссурийск													
Q	239	327	465	515	569	590	569	519	448	335	239	197	5011
r	59	53	26	16	17	19	18	20	21	21	34	53	26
Q(1-r)	54	155	260	431	473	477	469	414	356	264	159	92	3730
R	-13	29	176	289	347	381	373	306	238	126	17	-25	2244

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

РОЛЬ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА

Цель работы — изучение роли подстилающей поверхности в климатообразовании и особенностей океанических и континентальных типов климатов.

Литература

1. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Гл. 4. М., изд. МГУ, 1974.
2. Витвицкий Г. Н. Зональность климата Земли. Гл. 4, 5. — М.: Мысль, 1980.
3. Шапаев В. М. Климатология. Тема 2. Л., изд. ЛГМИ, 1974.

Подстилающая поверхность играет огромную роль в климатообразовании. Она является основным поглотителем солнечной радиации. С ней связаны процессы испарения и турбулентного теплообмена, она излучает длинноволновую радиацию и тем самым формирует термический режим тропосферы, режим увлажнения, облачности, осадков.

Расчленение земной поверхности на океаны и материки является причиной горизонтальной неоднородности радиационного и теплового балансов поверхности Земли вдоль широт, поскольку водная поверхность и суша имеют разные физические свойства.

Водная поверхность имеет отражательную способность на 10—20% меньше, чем суша, не покрытая снежным покровом. Это, наряду с меньшими значениями эффективного излучения, приводит к тому, что почти на всех широтах радиационный баланс океанов становится больше. В целом для Земли радиационный баланс океанов в 1,8 раза больше, чем суши. В низких широтах годовые значения радиационного баланса океанов в 1,5—1,6 раза больше, чем суши, но на полярной границе умеренных широт эти различия становятся незначительными. Расходуется тепло радиационного баланса на суше и океанах по-разному. На континентах, как свидетельствуют годовые значения, затрата тепла на испарение немного больше, чем затрата тепла на турбулентный обмен.

На океанах почти все накопленное водной массой тепло расходуется на испарение (90% R) и лишь небольшая часть идет на нагревание атмосферы путем турбулентного теплообмена. В целом за год затраты тепла на испарение с океанов примерно в 3 раза больше, чем с континентов. Зато континенты имеют в 2,5 раза большие значения затрат тепла на турбулентный теплообмен. Таким образом, над океанами и континентами несколько по-разному осуществляется нагревание атмосферы.

Наиболее важное различие в физических свойствах океана и материка заключено в теплоемкости воды и суши. Объемная теплоемкость почвы более чем в 2 раза меньше теплоемкости океанической воды. Поэтому, чтобы нагреть морскую воду на 1° , необходимо затратить почти вдвое больше тепла, чем для нагревания почвы. Из этого следует, что при одном и том же радиационном балансе температура поверхности суши будет почти в 2 раза выше, чем водной поверхности.

Меньшая теплоемкость почвы приводит к меньшим, чем в океане, затратам солнечной энергии на ее нагрев, а большая доля поглощенной радиации в трансформированном виде передается в атмосферу.

Большие контрасты термического режима водной поверхности и суши связаны также с различием теплопроводности воды и суши.

На суше тепло распространяется в глубь почвы медленно, в основном, путем молекулярной теплопроводности, и, отчасти, с просачивающейся водой атмосферных осадков. Накопленное тепло

сосредоточено в относительно неглубоком слое, и поэтому значительная часть остаточной радиации расходуется на нагревание пограничных слоев атмосферы. Летом для атмосферы суша служит источником тепла, а зимой — стоком тепла.

В океанах теплообмен протекает энергичнее. Здесь кроме молекулярной развита еще турбулентная теплопроводность. Механическому перемешиванию нагретых и охлажденных слоев способствуют волны, в связи с чем тепло распространяется на большую глубину. Например, в умеренных широтах за лето суша прогревается на глубину 10—15 м, а океаны за это время прогреваются до сотни метров. Участие больших масс воды в процессе теплообмена приводит к тому, что как нагревание, так и охлаждение поверхностного слоя воды под влиянием притока тепла или его отдачи происходит в десятки раз медленнее по сравнению с поверхностью суши. Следовательно, для атмосферы океаны оказываются источником тепла зимой и стоком летом.

Поскольку северные и южные полушария имеют разные площади суши и океанов (табл. 1.3.1), то это сказывается на режиме многих метеорологических величин, и, следовательно, климаты северного и южного полушария должны несколько различаться между собой.

Таблица 1.3.1
Распределение суши по полушариям (%)

Полушарие	Широта, °				
	0—20	20—30	30—60	60—75	75—90
Северное	22—32	40	50—60	60—75	0—20
Южное	20—24	22	0—9	0—60	100

Установлено, что при нагревании единичного столба атмосферы толщиной 5 км на 1°C расходуется около 400 Дж (100 кал). Если учесть, что океаны способны отдать за сутки более 2500 Дж (600 кал), то атмосфера нагревается на 6°, в то время как 100-метровый слой воды охладится всего лишь на 0,1°.

В случае же отдачи тепла атмосферой океану, его нагревание почти не отмечается. Так, например, при получении из атмосферы за сутки около 400 Дж, температура воды в слое до 10 м повышается всего лишь на 0,1°, а нижняя атмосфера охлаждается на 1°.

Резкие различия в соотношении расходных статей теплового баланса над океанами и сушей приводят к формированию физических особенностей океанических и континентальных воздушных масс. Это находит свое отражение в выделении океанических и материковых типов климата, которые значительно различаются режимами метеорологических величин.

На формирование особенностей климата над океанами и континентами большое влияние оказывают местные различия самих двух подстилающих поверхностей. Для океанов прежде всего отмечается влияние на климат холодных и теплых течений. Географическое распределение течений связано с наличием центров действия атмосферы и неоднородностью земной поверхности. Расчеты показывают, что в меридиональном переносе тепла в низких широтах 1/3 часть приходится на долю морских течений. Течения выносят тепловую энергию в основном из широтной полосы между 20° с. ш. и 20° ю. ш., а расходуется это тепло в наибольшем количестве в широтах 50—70°, особенно в северном полушарии.

Перенос морскими течениями тепловой энергии повышает температуру в высоких широтах, в связи с чем увеличивается отношение дождей к снегопадам и усиливается процесс снеготаяния. Это приводит к уменьшению альбедо, что также способствует дальнейшему повышению температуры земной поверхности. Благодаря теплым течениям климат западных побережий континентов в умеренных и высоких широтах становится мягким и влажным.

Теплые и холодные течения по-разному влияют на составляющие радиационного и теплового балансов, формируют различия в термическом и влажностном режиме, режиме облачности и осадков.

Суша отличается от океанов гораздо большим разнообразием подстилающей поверхности. Здесь встречаются поверхности без растительности, покрытые различной растительностью, со снежным покровом, горные районы.

Растительность прежде всего изменяет деятельную поверхность, превращая ее в деятельный слой. Это усложняет условия тепло- и влагообмена в приземном слое воздуха. Снежный покров, являясь продуктом климата, в свою очередь, оказывает большое влияние на климат. Он играет значительную роль в тепловом режиме почвы и воздуха. Он имеет большую отражательную способность, обладает плохой теплопроводностью, при таянии дает много воды, значительная часть которой проникает в почву.

Особенно сильно на климат суши оказывает влияние горный рельеф. В горных районах формируется свой местный климат, отличный от климата равнинной части.

На формирование особенностей горного климата влияют высота над уровнем моря, форма рельефа, ориентация и крутизна горных склонов. Рельеф оказывает существенное влияние на направление и интенсивность воздушных потоков. Воздушные течения или обтекают горные препятствия, или перетекают через них в зависимости от высоты естественных барьеров и устойчивости масс воздуха. Холодный воздух как более плотный чаще обтекает горное препятствие, а теплый воздух перетекает через него. С перетеканием теплого и холодного воздуха через горные препятствия связаны такие явления, как фен и бора. Влияние гор очевидно

также в таких мезомасштабных явлениях, как ветры ущелий и склонов, горно-долинные ветры и приземные струйные течения. Крупномасштабное воздействие гор проявляется в отклонениях от зонального потока. Например, встречаясь с мощными горными системами Центральной Азии, западный перенос раздваивается. Южная ветвь проходит к югу от Гималаев, отодвигая субтропическую зону повышенного давления далеко к югу. Скорость западных ветров наибольших значений достигает на высоте 12 км между 25 и 28° с.ш. Больше нигде на земном шаре субтропическое струйное течение не проходит так близко от тропика. Горные хребты меридионального протяжения блокируют зональный поток и тем самым нарушают его. Чем выше хребет и мощнее, тем большее возмущение он производит. Особенно значительна роль в этом отношении таких горных систем, как Скалистые горы в Северной Америке и Анды в Южной Америке.

Крупные внутренние водоемы (моря, озера, водохранилища) создают не только свои микроклиматы, но и влияют на прилегающие к ним районы суши, причем, чем крупнее и глубже водоем, тем сильнее его воздействие на метеорологические величины и их характеристики.

Сравнение климатов океанов и внутренних водоемов показывает, что имеют место некоторые различия. Например, годовые значения радиационного баланса внутренних водоемов в тропических и субтропических районах больше, чем океанов. Облачности и осадков в районе внутренних водоемов меньше, чем на суше.

В районах крупных городов формируются свои микроклиматы. Этому способствует своеобразие подстилающей поверхности с преобладанием камня, асфальта и металла, отличающихся хорошей теплопроводностью и уменьшающих испарение. Наличие резко пересеченного рельефа города с целой сетью улиц, площадей, парков приводит к изменению скорости и направления ветра. Повышенная загрязненность воздуха значительно меняет радиационный режим и условия конденсации водяного пара. Таким образом, в городах по сравнению с окружающими его окрестностями отмечается отличие режимов многих метеорологических величин.

✓ Задание 1. Используя данные о широтном распределении составляющих теплового баланса (табл. 1.2.5), найдите различия в их значениях по полушариям и объясните, почему они возникают (при анализе постройте графики широтного распределения отношений $Q_c/Q_{ю}$, $R_{ю}/R_c$, $LE_{ю}/LE_c$, $P_c/P_{ю}$).

М Задание 2. Используя данные о широтном распределении средней зональной температуры воздуха (табл. 1.3.2), найдите различия в их значениях по полушариям и объясните, почему они возникают (при анализе постройте графики широтного распределения разностей температур между северным и южным полушариями).

4 Задание 3. Проанализируйте разности средних широтных значений общей облачности (табл. 1.3.3) и осадков (табл. 1.3.4)

между северным и южным полушариями и объясните, почему они возникают.

Задание 4. Проанализируйте разности средних широтных значений OT_{1000}^{500} между северным и южным полушариями (табл. 1.3.5) и объясните, почему они возникают.

Задание 5. Используя данные о широтном распределении составляющих теплового баланса (табл. 1.2.5), выявите различия в их значениях на океанах и суше и объясните, почему они возникают (при анализе постройте графики широтного распределения Q_c/Q_o , R_o/R_c , LE_o/LE_c , P_c/P_o).

Задание 6. Проанализируйте разности между средними широтными значениями годовых температур воздуха у поверхности земли, сезонных температур на высотах, облачности на суше и океанах и объясните, почему они возникают (табл. 1.3.6, 1.3.7, 1.3.8).

Задание 7. Проанализируйте карты изономал у поверхности земли в январе и июле (рис. 5, 6) и объясните возникновение областей с положительными и отрицательными значениями отклонений.

Задание 8. Проанализируйте данные о повторяемости подвижных и малоподвижных циклонов и антициклонов на океанах и суше и объясните существующие различия (табл. 1.3.9). (При анализе составьте отношения повторяемостей барического образования на суше к соответствующей повторяемости на океане.)

Задание 9. Используя данные о вертикальном градиенте суммарной радиации (табл. 1.3.10) и радиационного баланса (табл. 1.3.11) исследуйте их изменения в годовом ходе.

Задание 10. Сравните режим температуры и осадков в Северо-Кавказском и Закавказском районах и объясните имеющиеся различия (табл. 1.3.12, 1.3.13).

Вопросы для самопроверки

1. Какими физическими свойствами различаются почва и вода и к чему это приводит?
2. В чем состоят основные различия между континентальными и океаническими типами климата?
3. Как можно оценить континентальность климата?
4. Как влияет растительный покров на формирование особенностей климата? Особенности микроклимата леса.
5. Какова роль снежного и ледового покрова в формировании климата?
6. Какие холодные и теплые течения формируются в океанах и какова их роль в формировании особенностей климата?
7. Какие факты подтверждают влияние материков и океанов на формирование полей метеорологических величин?

8. Как возникают бризы и муссоны и какова их климатообразующая роль?

9. Какие климатические различия формируются в горных районах за счет их механического воздействия на воздушные массы?

10. Как возникают фен и бора? Почему при фене переваливающая воздушная масса повышает свою температуру, а при боре этот эффект почти не наблюдается? Какова климатологическая роль этих явлений?

11. Как влияет высота над уровнем моря на изменение метеовеличин в горах?

12. Как влияет ориентация склонов и их крутизна на метеовеличины?

13. Как влияют формы рельефа на режим метеорологических величин и возникновение местной циркуляции? Как возникают ветры склонов, горно-долинная циркуляция?

14. Чем различается микроклимат внутренних водоемов от климатов суши и океанов?

15. Чем отличается микроклимат городов от климата окружающих его районов?

Таблица 1.3.2

Зональная температура воздуха полушарий, °С

Сезон	Полушарие	Широта, °										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	0—90
Январь	Северное	27	26	22	15	6	—6	—15	—24	—28	—33	8
	Южное		27	26	22	16	8	2	—4	—11	—15	17
Июль	Северное	26	27	28	27	23	17	14	8	1	—2	22
	Южное		25	21	16	11	5	—6	—20	—39	—45	10
Год	Северное	26	27	25	21	14	5	—1	—10	—17	—23	15
	Южное		25	23	19	13	6	—4	—13	—25	—30	13

Таблица 1.3.3

Разность средних широтных значений общей облачности между северным и южным полушариями, баллы

Сезон	Широта, °								
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90
Зима	0,4	—0,3	—0,3	—0,1	—0,3	—1,1	—1,3	0,9	1,5
Лето	0	0	—1,4	—0,5	—0,7	1,2	1,6	1,6	3,3

Таблица 1.3.4

Разность средних широтных значений осадков между северным и южным полушариями, мм

Сезон	Широта, °								
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90
Зима	37	—7	—14	—29	—49	—30	5	0	0
Лето	37	8	12	10	—24	—37	—37	6	0

Таблица 1.3.5

Разность средних широтных значений OT_{1000}^{500} между северным и южным полушариями

Сезон	Широта, °							
	10	20	30	40	50	30	70	80
Зима	2	3	0	— 6	— 6	— 2	2	1
Лето	4	5	8	13	18	22	20	27

Таблица 1.3.6

Широтное распределение годовых температур в северном полушарии на суше и океане и их разности

Поверхность	Широта, °									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Суша	28	28	27	24	18	7	— 5	—12	—19	—25
Океан	26	26	24	19	16	13	7	— 1	—12	—21
Разность	2	2	3	5	2	— 6	—12	—11	— 7	— 4

Таблица 1.3.7

Разности зональной температуры над сушей и океаном северного полушария

Сезон	Поверхность, гПа	Широта, °						
		10	20	30	40	50	60	70
Январь	850	1	1	—1	—2	—6	—6	—8
	500	0	—1	—2	—3	—4	—4	—2
Июль	850	0	6	9	8	5	4	3
	500	0	0	3	2	1	1	—1

Таблица 1.3.8

Широтное распределение облачности в северном полушарии над сушей
и океаном и их разности

Поверхность	Широта, °								
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	0—80
Суша	5,2	4,0	3,4	4,0	5,0	6,0	6,2	6,3	4,9
Океан	5,3	5,3	4,9	5,2	6,6	6,7	7,2	7,0	5,6
Разность	-0,1	-1,3	-0,5	-0,8	-1,6	-0,7	-1,0	-0,7	-0,7

Таблица 1.3.9

Повторяемость (число случаев) подвижных (п) и малоподвижных (м.п.)
циклонов (Zп) и антициклонов (Azп) на суше и на океане (1962—1971 гг.)

Поверх- ность	Образо- вание	М е с я ц ы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суша	Zп(п)	205	230	258	285	280	253	223	205	198	215	205	210
	Zп(м.п.)	240	295	355	452	525	578	680	748	475	320	280	280
	Azп(п)	152	145	132	118	100	78	78	85	102	115	130	130
	Azп(м.п.)	330	280	265	250	230	230	230	270	235	230	250	295
Океан	Zп(п)	345	350	332	295	270	227	197	195	222	285	345	370
	Zп(м.п.)	310	385	355	328	325	352	430	492	325	370	400	420
	Azп(п)	118	135	142	152	140	122	102	95	98	105	100	90
	Azп(м.п.)	180	180	205	250	280	320	350	320	245	190	160	175

Таблица 1.3.10

Вертикальный градиент суммарной радиации (Дж/м²·км)

Горная система	М е с я ц ы												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Б. Кавказ	109	151	205	222	234	71	38	-29	25	109	126	109	113
М. Кавказ	364	272	314	138	-184	-96	38	-117	-92	-92	205	330	92
Памир	92	117	159	213	142	151	88	84	88	80	67	84	113
Тянь-Шань	163	193	314	306	243	151	8	38	80	159	172	159	167
Альпы	264	121	138	84	96	71	29	4	100	113	100	84	67
Высокие Татры	-4	29	96	268	243	205	326	310	264	251	80	17	172
Скальные горы	180	205	268	126	276	423	301	230	393	272	218	113	251

Таблица 1.3.11

Вертикальный градиент радиационного баланса в горных районах
Средней Азии (Дж/м²·км)

М е с я ц ы												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-180	-204	-259	-165	-146	-110	-78	-26	-180	-112	-120	-170	-144

Таблица 1.3.12

Средние месячные температуры воздуха, °С

Станция	М е с я ц ы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

Северо-Кавказский район

Грозный	-3,6	-2,3	2,4	9,3	16,5	20,8	29,8	23,2	17,4	11,0	4,0	-1,2
Майкоп	-1,4	-0,6	4,2	10,7	16,1	19,3	22,1	21,8	17,2	11,5	5,3	0,5
Махачкала	-0,4	0,1	3,4	9,2	16,3	21,5	24,7	24,2	19,3	13,6	7,0	2,3

Закавказский район

Баку	3,8	4,0	6,2	11,0	17,7	22,6	25,7	25,6	21,6	16,6	10,9	6,5
Батуми	6,7	6,7	8,2	11,3	15,9	20,2	22,9	23,1	20,1	16,2	12,1	9,0
Тбилиси	0,9	2,6	6,6	11,9	17,3	21,1	24,4	24,2	19,6	13,8	7,6	2,8

Таблица 1.3.13

Средние месячные количества осадков, мм

Станция	М е с я ц ы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

Северо-Кавказский район

Грозный	18	16	25	32	53	70	57	49	41	33	28	20
Майкоп	44	43	47	53	73	88	70	54	57	58	62	53
Махачкала	29	28	26	26	28	31	28	29	50	45	52	39

Закавказский район

Баку	21	15	19	19	10	8	5	7	13	29	31	21
Батуми	247	203	160	113	85	152	174	248	321	291	284	253
Тбилиси	16	22	31	52	86	72	48	37	42	42	35	22

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

РОЛЬ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ В ФОРМИРОВАНИИ КЛИМАТА

Цель работы — изучить поле давления и преобладающих направлений ветров и оценить вклад воздушных течений в климатообразование.

Литература

1. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Гл. 3. М., изд. МГУ, 1974.
2. Гаврилова Л. А. Аэроклиматология. Раздел II. М., изд. ЛГМИ, 1982.
3. Шапаев В. М. Климатология. Тема 5. М., изд. ЛГМИ, 1974.
4. Костин С. И., Кобышева Н. В., Струнников Э. А. Климатология. Гл. 1. Л.: Гидрометеониздат, 1980.
5. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы. — Л.: Гидрометеониздат, 1972.
6. Груза Г. В. Интегральные характеристики общей циркуляции атмосферы. — Л.: Гидрометеониздат, 1965.

Под общей циркуляцией атмосферы (ОЦА) понимается совокупность основных крупномасштабных воздушных течений у поверхности земли, в тропосфере, стратосфере и мезосфере, благодаря которым осуществляется обмен больших масс воздуха теплом, влагой и количеством движения в горизонтальном и вертикальном направлениях. К ним относятся система ветров, связанная с центрами действия атмосферы (ЦДА), меридиональные и зональные составляющие скорости ветра, планетарные волны и струйные течения, экваториальные муссоны, муссонные потоки и пассаты, средние волны в виде циклонов и антициклонов, пассатные волны, короткие волны.

Воздушные течения различных масштабов обуславливают горизонтальные и макротурбулентные притоки тепла и влаги, количества движения, адиабатические изменения температуры и тем самым оказывают влияние на формирование режима температуры, увлажнения и осадков в различных районах Земли. В результате нарушается распределение метеорологических величин, близкое к широтному, которое возникло бы под влиянием радиационных процессов над однородной подстилающей поверхностью. Межширотный обмен воздушных масс, с одной стороны, приводит к выравниванию температур, с другой стороны, сходимость воздушных масс, различных по своим физическим свойствам, способствует формированию зон повышенных контрастов температуры, имеющим большое значение для развития циклонической деятельности в умеренных и высоких широтах.

Движущей силой ОЦА является непрерывно существующий меридиональный градиент температуры между низкими и высо-

кими широтами. Вращение Земли и наличие силы Кориолиса приводит к нарушению меридиональной циркуляции.

Приземное поле ветра полностью связано с ЦДА, поэтому, зная географическое положение этих центров, можно достаточно хорошо судить о преобладающем направлении ветра у поверхности Земли.

В низких широтах большую климатическую роль играют пассатные потоки. Их возникновение связано с формированием субтропического пояса высокого давления. Они являются нижней ветвью циркуляционной ячейки Гадлея и способствуют транспортировке тепла и влаги к экватору. Особенно велика роль океанических пассатов, возникающих на южной и юго-западной периферии субтропических максимумов в северном полушарии и северной и северо-восточной периферии — в южном. Они устойчиво стратифицированы, и под слоем пассатной инверсии накапливается влага, которая затем выносится к экватору.

Считается, что большая часть осадков, выпадающих в экваториальной и субэкваториальной зонах, связана с влагой, приносимой пассатными потоками. В среднем пассатные потоки располагаются между 30° северной и южной широты, что составляет 1/3 от широтных кругов или около 50% поверхности Земли, из них 75% занимают океаны.

Экваториальные муссоны, возникающие в летнее время года за счет различий в температурном поле полушарий и усиливающиеся за счет различного нагревания суши и океана, имеют важное климатообразующее значение, поскольку с ними связано формирование климатов субэкваториальных муссонов, характеризующихся наличием резко выраженных сезонов: засушливой зимой и влажным летом, с максимумом температуры воздуха в предмуссонный период.

Муссонные ветры тропических и умеренных широт обусловлены различиями в нагревании континентов и океанов в зависимости от сезонов. Зимой муссонные потоки направлены с суши на океан и имеют в северном полушарии северную составляющую, чаще всего северо-западное направление, в южном — южную. Летние муссоны в северном полушарии имеют в основном юго-восточное направление, а в южном — северо-западное и северо-восточное.

Зимние ветры умеренных широт в приземном слое в большинстве случаев имеют западную составляющую. В южном полушарии это чаще всего западные потоки, а в северном — юго-западные. Исключение составляют ветры, связанные с южной и юго-восточной частью монгольского и канадского максимумов, где преобладают ветры с восточной составляющей. Летние ветры в южном полушарии также имеют западную составляющую. В северном полушарии западная составляющая отмечается в центральных и южных районах Европы. В северных ее

районах и на большей части Азии потоки имеют северную составляющую.

Тропосферное поле ветра характеризуется наличием в каждом полушарии трех зон с соответствующей широтной составляющей скорости ветра: пассатной зоной восточных направлений, зоной западных ветров умеренных широт и зоной полярных восточных ветров. В стратосфере отмечаются только две зоны ветров: восточная зона, занимающая все летнее полушарие и приэкваториальные широты зимнего полушария, и зона западных потоков в зимнем полушарии.

Меридиональные составляющие поля ветра указывают на существование в каждом полушарии трех ячеек циркуляции. Вблизи земной поверхности низких широт обоих полушарий меридиональные составляющие направлены к экватору, а в верхней тропосфере — от экватора. Согласно принципу сохранения массы, эти два противоположно направленных потока соединяются восходящим движением у экватора и нисходящим движением в субтропиках (ячейка Гадлея). В средних широтах расположена другая ячейка (Феррела) с приземным потоком, направленным к полюсу, и высотным — к экватору. В полярных широтах существует третья ячейка с такими же меридиональными составляющими ветра, как в низких широтах. Волновые движения в атмосфере — характерное свойство подвижной среды на вращающейся Земле.

Волновые движения потоков воздуха порождают меридиональную составляющую циркуляции, с которой тесно связан междуширотный обмен физических показателей состояния и энергии воздушной среды. Волны снабжают среднее зональное движение энергией. А среднее зональное движение — одна из основ существования климатических зон.

К волновым процессам относятся планетарные волны, длина которых превышает 5 тыс. км в умеренных и 10 тыс. км в экваториальных широтах. Внетропические планетарные волны возникают за счет наличия контрастов температур континент — океан, а также орографии. Они в общем квазистационарны. Благодаря полустойчивому положению они вызывают большие долготные различия климата.

В северном полушарии хорошо видны на январских климатических картах ложбины на востоке Азии и Северной Америки и гребни на востоке Атлантического и Тихого океанов, прослеживается новоземельская ложбина. Летом прослеживаются четыре ложбины и четыре гребня. Кроме сохраняющихся ложбин на востоке Азии и Северной Америки появляются ложбины над Западной Европой и Западной Сибирью.

Летом хорошо прослеживаются ложбины и гребни в низких широтах. На поверхности 200 гПа северным летом прослеживаются две большие квазистационарные ложбины над Тихим и Атлантическим океанами. Они разделены гребнями с антициклонической циркуляцией над Тибетом и юго-западнее Мексики.

Южным летом схожие ложбины есть над тропиками южного полушария посреди Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Их разделяют гребни над материками.

Струйные течения представляют собой неотъемлемую часть общей циркуляции, ибо в ней происходит наиболее интенсивный зональный перенос и вертикальное перемещение массы воздуха. Взаимодействие одной системы струйных течений с другой составляет физическую основу крупномасштабных процессов переноса в атмосфере.

Средние волны представляют собой возмущения синоптического масштаба. Они имеют горизонтальные размеры 100—1000 км и жизненный цикл продолжительностью в несколько дней. В средних и высоких широтах — это подвижные циклоны и антициклоны, а в тропиках — пассатные волны, экваториальные вихри, линии сдвига.

Циклоны и антициклоны внетропических широт переносят тепло не только к полюсу, но и в верхние слои атмосферы. Перенос тепла к полюсу сглаживает меридиональный градиент температуры. Тепло, переносимое из нижних слоев в верхние, составляет ту часть, которой недостает для сбалансирования охлаждения верхней тропосферы.

Средние волны, как наиболее неустойчивые, служат источником, а остальные волны — стоком кинетической энергии. Следовательно, циклонические вихри снабжают кинетической энергией как длинные, так и короткие волны.

Мелкомасштабные процессы играют большую роль в общей циркуляции атмосферы. Посредством их осуществляется нелинейная связь между облачностью и крупномасштабными движениями. В умеренных широтах короткие волны видны на карте погоды, как фронты, скрепляющие семейство смещающихся циклонов и антициклонов. Они проявляются в нижней тропосфере в виде теплых и холодных ложбин, линий сдвига, струйных течений нижней тропосферы.

Одной из наиболее простых моделей атмосферной циркуляции является модель зональной циркуляции, сформулированная Н. Е. Кочиным. Оценив порядок членов в уравнениях движений, Н. Е. Кочин получил следующую упрощенную систему уравнений:

$$\rho \frac{\partial v_\theta}{\partial t} - l\rho v_\phi = \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \frac{\partial}{\partial r} \rho \frac{\partial v_\theta}{\partial r}, \quad (1.4.1)$$

$$\rho \frac{\partial v_\phi}{\partial t} + l\rho v_\theta = \frac{\partial}{\partial r} \rho \frac{\partial v_\phi}{\partial r}, \quad (1.4.2)$$

$$\frac{\partial (\rho r^2 \sin \theta)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v_r r^2 \sin \theta)}{\partial r} + \frac{\partial (\rho v_\theta r \sin \theta)}{\partial \theta}, \quad (1.4.3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial r} + gp = 0, \quad (1.4.4)$$

где θ — дополнение широты; r — расстояние до центра Земли; ρ — плотность; g — ускорение свободного падения; $l=2\omega \cos \theta$ — параметр Кориолиса; ω — угловая скорость вращения Земли; μ — коэффициент турбулентной вязкости; v_ϕ — составляющая скорости по параллели; v_θ — составляющая скорости по меридиану, v_r — вертикальная составляющая скорости.

Для случая стационарной зональной циркуляции из этих уравнений могут быть получены следующие формулы для составляющих скорости:

$$v_\phi(z) = \frac{\partial p / \partial \theta}{2\omega \rho \cos \theta a} \left[1 - \exp \left(- \sqrt{\frac{\omega \cos \theta}{\mu}} z \right) \times \right. \\ \left. \times \cos \left(\sqrt{\frac{\omega \cos \theta}{\mu}} z \right) \right], \quad (1.4.5)$$

$$v_\theta(z) = \frac{\partial p / \partial \theta}{2\omega \rho \cos \theta a} \left[\exp \left(- \sqrt{\frac{\omega \cos \theta}{\mu}} z \right) \times \right. \\ \left. \times \sin \left(\sqrt{\frac{\omega \cos \theta}{\mu}} z \right) \right], \quad (1.4.6)$$

$$v_r(z) = \frac{1}{a \rho(z) \sin \theta} \int_n^z \frac{\partial (\rho v_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} dz. \quad (1.4.7)$$

Давление и плотность могут быть получены по следующим формулам:

$$p(z, \theta) = p(0, \theta) \exp \left[- \int_0^z \frac{g}{R} \frac{dz}{T(\theta, z)} \right], \quad (1.4.8)$$

$$\rho(z, \theta) = \frac{p(z, \theta)}{RT(z, \theta)}, \quad (1.4.9)$$

где a — радиус Земли; z — высота над уровнем океана; R — газовая постоянная; T — температура.

Таким образом, зная температуру как функцию широты и высоты, а также давление у земной поверхности и величину коэффициента вязкости μ , можно оценить все основные элементы атмосферной циркуляции.

Важнейшими характеристиками атмосферной циркуляции являются различные виды энергии. Основные виды энергии для столба атмосферы единичного сечения в первом приближении могут быть оценены по следующим формулам:

а) кинетическая энергия атмосферного столба

$$K = \frac{1}{2g} \int_{p_H}^{p_h} (v_\phi^2 + v_\theta^2 + v_r^2) dp; \quad (1.4.10)$$

б) внутренняя энергия атмосферного столба

$$I = \frac{jc_v}{g} \int_{p_H}^{p_h} T dp; \quad (1.4.11)$$

в) потенциальная энергия атмосферного столба

$$\Pi = p_h h - p_H H + \frac{R}{g} \int_{p_H}^{p_h} T dp. \quad (1.4.12)$$

Меридиональный поток кинетической энергии через данный круг широты

$$\Phi(\theta) = \frac{2\pi a \sin \theta}{g} \int_{p_H}^{p_h} \left[v_\theta \left(\frac{v_\psi + v_\theta}{2} \right) \right] dp, \quad (1.4.13)$$

где квадратные скобки означают осреднение вдоль круга широты.

При решении многих задач динамики атмосферы и теории климата приходится иметь дело с интегральными статистическими характеристиками. Под интегральной характеристикой понимается физическая величина, характеризующая некоторое свойство атмосферы во всей достаточно большой области пространства или за определенный промежуток времени. Такими характеристиками в первую очередь будут средние пространственные и средние временные величины. В дальнейшем, для определенности, будем рассматривать только пространственное осреднение, а именно, осреднение вдоль круга широты. Все остальные статистические характеристики, которые привлекаются для описания пространственной и временной структуры атмосферных процессов, также связаны с осреднением.

К числу основных характеристик, привлекаемых для описания зональной структуры атмосферной циркуляции, относятся следующие:

1. Средние зональные значения некоторой величины X

$$[X] = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} X(\varphi, \lambda, z, t) d\lambda. \quad (1.4.14)$$

2. Меридиональный перенос величины X

$$[vX] = [v][X] + [v'X'], \quad (1.4.15)$$

где $X' = X - [X]$.

3. Среднеширотная кинетическая энергия зональных и меридиональных движений

$$E_{\varphi} = \frac{1}{2} ([v]^2 + [v']^2), \quad (1.4.16)$$

$$E_{\lambda} = \frac{1}{2} ([u]^2 + [u']^2). \quad (1.4.17)$$

4. Энергия турбулентных движений

$$b' = \frac{1}{2} ([u'^2] + [v'^2]). \quad (1.4.18)$$

5. Скорость обмена энергией между средним и пульсационным движением

$$S = - [u'v'] \frac{\cos \varphi}{a} \frac{\partial}{\partial \varphi} \frac{[u]}{\cos \varphi}, \quad (1.4.19)$$

где a — радиус Земли.

6. Меридиональный поток кинетической энергии

$$[vE] = [v][E] + [v'b'], \quad (1.4.20)$$

где $E = ([u]^2 + [v]^2)/2$.

7. Меридиональный поток количества движения

$$[vM] = [v][M] + [v'M']. \quad (1.4.21)$$

8. Скорость перемещения волн Россби

$$k = u - \frac{\omega \cos \varphi L^2}{2\pi^2 a}. \quad (1.4.22)$$

9. Индекс циркуляции

$$I = 1000 \frac{u}{a\omega \cos \varphi}, \quad (1.4.23)$$

где ω — угловая скорость вращения Земли.

10. Абсолютный удельный момент количества движения

$$M = ua \cos \varphi + \omega a^2 \cos^2 \varphi. \quad (1.4.24)$$

11. Средние зональные значения относительного и абсолютного вихря

$$[\Omega_z] = - \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi [u]), \quad (1.4.25)$$

$$p = [\Omega_z + I]. \quad (1.4.26)$$

Помимо указанных величин важную роль в анализе атмосферной циркуляции и климата играют спектральные характеристики.

Изменение практически любой метеорологической величины в пространстве и во времени можно представить в виде разложения по некоторой системе базисных флуктуаций. Наиболее просто это разложение выполняется в том случае, если изменение метеорологического элемента аппроксимировать рядом Фурье. В дальнейшем будем говорить о зональном гармоническом анализе. В этом случае изменение метеорологического элемента X с долгой при фиксированной широте, высоте и времени можно представить в следующем виде:

$$X = [X] + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n(x) \cos n\lambda + B_n(x) \sin n\lambda), \quad (1.4.27)$$

или

$$X = [X] + \sum_{n=1}^{\infty} C_n(x) \cos(n\lambda + \psi_n(x)), \quad (1.4.28)$$

где

$$A_n(X) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} X(\lambda) \cos n\lambda d\lambda, \quad (1.4.29)$$

$$B_n(X) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} X(\lambda) \sin n\lambda d\lambda, \quad (1.4.30)$$

$$C_n(X) = \sqrt{A_n^2(X) + B_n^2(X)}, \quad (1.4.31)$$

$$\psi_n(X) = \arctg \frac{B_n(X)}{A_n(X)}, \quad (1.4.32)$$

$C_n(X)$ — амплитуда n -й гармоники; $\psi_n(X)$ — фаза n -й гармоники. Масштаб возмущений можно определить по формуле

$$L_n(X) = \frac{2\pi}{n} a \cos \varphi. \quad (1.4.33)$$

Некоторые характеристики макротурбулентности могут быть связаны с коэффициентами Фурье. Например,

$$[u'^2] = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} C_n^2(u), \quad (1.4.34)$$

$$[v'^2] = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} C_n^2(v), \quad (1.4.35)$$

$$[u'v'] = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} C_n(u) C_n(v) \cos \psi_n(u) - \psi_n(v). \quad (1.4.36)$$

Важными результатами зонального гармонического анализа является возможность определить распределение указанных характеристик по волновым числам.

Задание 1. Проанализируйте январскую и июльскую карты распределения давления и преобладающих направлений ветра у поверхности Земли (рис. 7, 8) и ответьте на вопросы.

1. Какие центры действия атмосферы наблюдаются в течение круглого года, а какие возникают в определенные сезоны?
2. Чем обусловлено возникновение сезонных центров?
3. Как ведут себя стационарные центры в зависимости от сезона? Есть ли различия в их поведении по полушариям?
4. Какие различия существуют в меридиональных градиентах зональных значений давления по полушариям?
5. Какие преобладающие направления ветра наблюдаются в приэкваториальных широтах? Есть ли районы с отклонениями от средних зональных условий?
6. Как возникают пассатные потоки, каковы их направления в южном и северном полушариях? Какова их климатообразующая роль?
7. В каких районах и когда наблюдаются экваториальные муссоны? Каковы их направления в южном и северном полушарии? В чем состоит их климатообразующая роль?
8. Перечислите районы умеренных широт с преобладанием тех или иных преобладающих направлений ветра и поясните, чем они обусловлены.
9. Какие преобладающие воздушные течения (потоки) наблюдаются в приполярных районах.

Задание 2. Проанализируйте карты средних многолетних полей геопотенциала в тропосфере и стратосфере северного полушария в январе и июле (рис. 9, 10) и ответьте на вопросы.

1. До каких высот сохраняются приземные центры действия атмосферы?
2. Что является главной особенностью распределения давления в зимней тропосфере?
3. Чем отличается летнее поле давления в тропосфере от зимнего?
4. Что является характерной особенностью распределения давления в средней и верхней стратосфере?
5. Чем отличается летнее поле давления стратосферы от зимнего? Почему происходит перестройка поля давления?
6. Какие различия наблюдаются в распределении полей геопотенциала в южном полушарии?

Задание 3. Проанализируйте январскую и июльскую карты климатологических фронтов (рис. 7, 8) и ответьте на вопросы.

1. Что называют климатологическими фронтами? Какие их типы выделены?

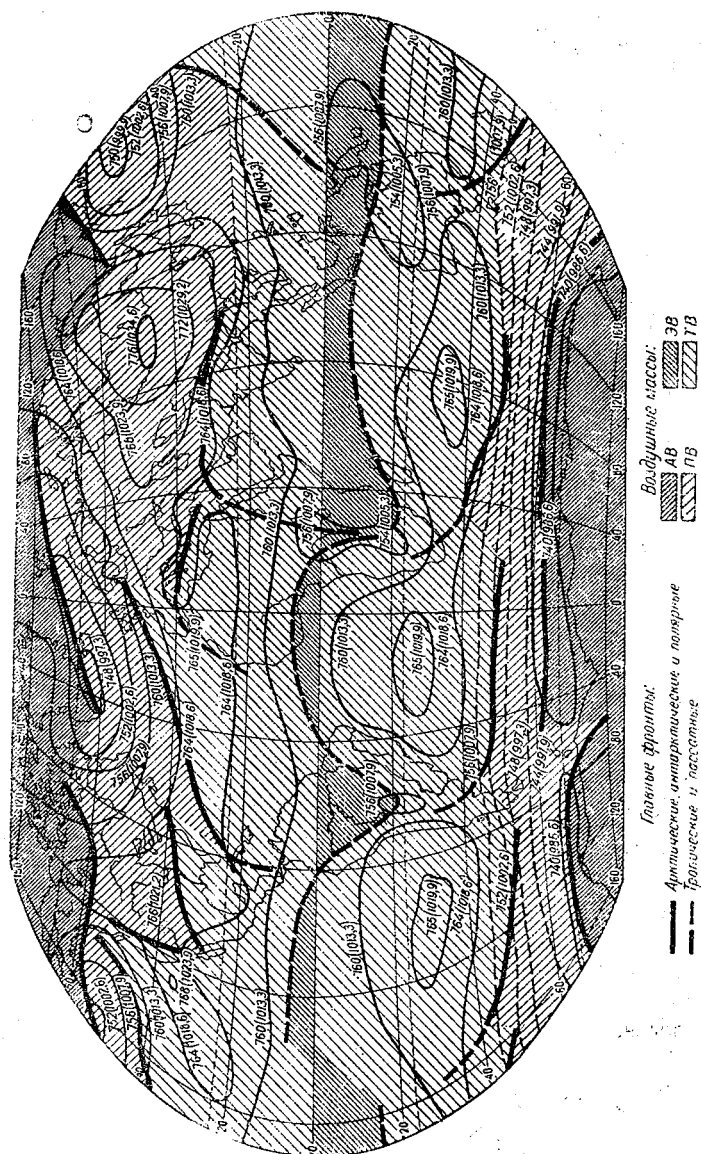


Рис. 7. Поле давления (гПа), главных климатологических фронтов и преобладающих направлений ветра. Январь

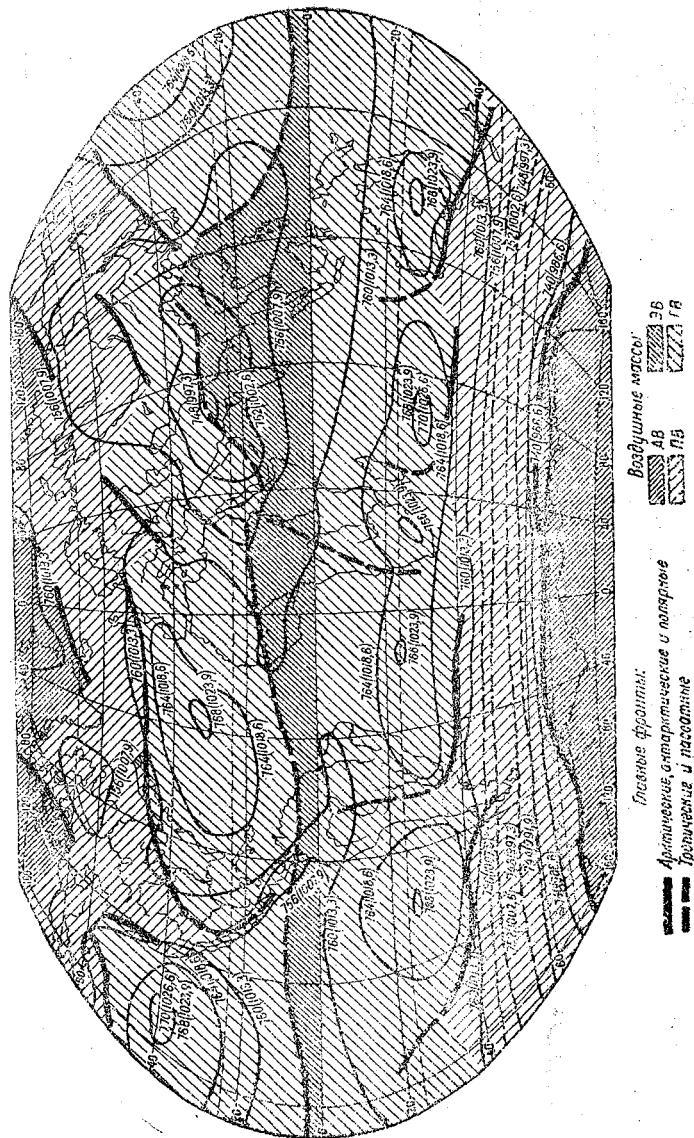
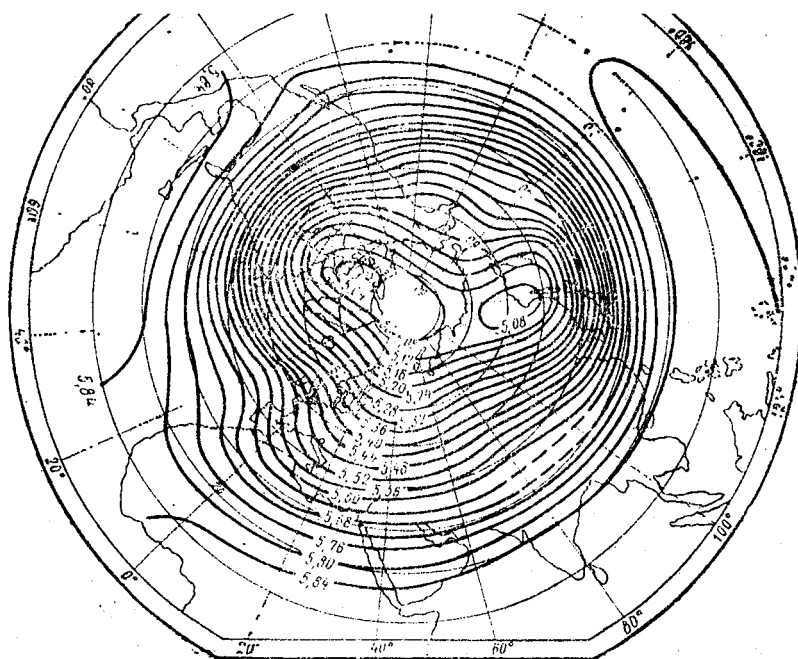


Рис. 8. Поле давления (гПа), главных климатологических фронтов и преобладающих направлений ветра. Июль

а)



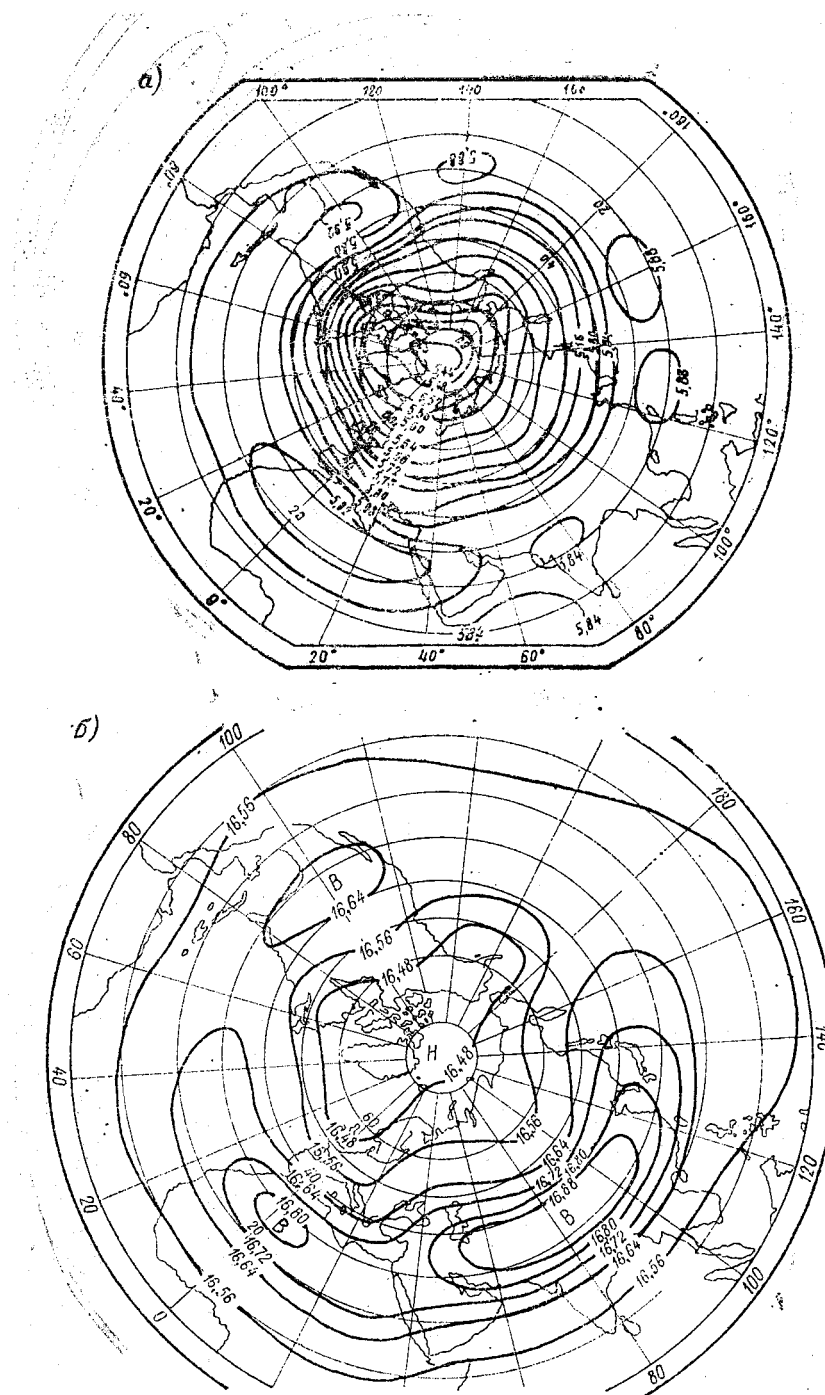


Рис. 10. Поле геопотенциала поверхностей 500 гПа (а), 100 гПа (б). Июль.

2. Что представляет собой тропический фронт или зона внутритропической конвергенции? Какое в среднем географическое положение эти фронты занимают в январе и июле? Какие ветви наиболее интенсивно развиты в зависимости от сезона?

3. Какие воздушные массы разделяет фронт умеренных широт? На каких широтах они чаще всего наблюдаются в январе и июле? Какие ветви наиболее активны в зависимости от сезона? Какова их климатообразующая роль?

4. Какие воздушные массы разделяют арктический и антарктический фронты? На каких широтах они наблюдаются в январе и июле? Какие ветви наиболее интенсивно развиты в зависимости от сезона и их климатообразующая роль?

5. Почему отмечается смещение климатологических фронтов в зависимости от сезона?

6. Объясните, почему в южном полушарии климатологические фронты в среднем располагаются на других широтах, чем в северном.

Задание 4. Постройте вертикальные распределения средних широтных скоростей зональной составляющей ветра в январе и июле (табл. 1.4.1—1.4.4) и ответьте на вопросы.

1. Какова климатологическая роль зональных потоков?

2. Что является характерной особенностью средней зональной циркуляции в тропосфере и нижней стратосфере?

3. Что отражают собой восточные составляющие ветра в приземных слоях атмосферы?

4. Чем объясняется положение центров максимальных западных составляющих ветра и что они отражают?

5. В чем состоят сезонные различия в поле зональной составляющей скорости ветра и чем они объясняются?

6. Какие различия в распределении зональной составляющей скорости ветра отмечаются между полушариями?

Задание 5. Постройте вертикальное распределение средних широтных скоростей меридиональной составляющей ветра в январе и июле (табл. 1.4.5—1.4.8) и ответьте на вопросы.

1. Какова климатологическая роль меридиональных потоков?

2. Что является характерной особенностью средней меридиональной циркуляции в тропосфере и нижней стратосфере?

3. Как развивается тропическая циркуляционная ячейка (ячейка Гадлея)?

4. Что представляет собой циркуляционная ячейка умеренных широт (ячейка Феррела)?

5. Что представляет собой полярная циркуляционная ячейка северного полушария?

6. В какой сезон все три циркуляционные ячейки достигают наивысшей интенсивности? Куда они смещаются от зимы к лету?

7. Какие широты занимают тропические ячейки в зимний период? В каком полушарии отмечаются большие скорости?

8. На каких широтах наблюдаются наибольшие скорости меридиональной составляющей ветра в тропической циркуляционной ячейке в зависимости от сезона?

9. Почему в нижней тропосфере северного полушария в умеренных и полярных широтах наблюдаются слабые скорости меридиональной составляющей ветра?

10. Чем отличается циркуляционная ячейка умеренных широт северного полушария от южного?

Задание 6. Выполните расчет и анализ характеристик атмосферной циркуляции для географических широт 20, 30, 40, 50, 60, 70° в северном полушарии на высотах 0, 1,5, 3, 4,5, 6, 7, 7,5, 9 км.

Рекомендации к выполнению задания 6

1. Используя данные о распределении давления у поверхности земли (см. табл. 1.2.3, тема 1), а также значения температуры на различных широтах и высотах, приведенные в табл. 1.4.9, оцените, применяя одну из формул численного интегрирования, распределение давления с высотой на различных широтах. Сопоставьте полученные значения с известными климатическими данными.

2. Оцените значения плотности на различных высотах, используя вычисленные значения давления. Температуру взять в табл. 1.4.9. Сопоставьте полученное распределение плотности с его распределением в изотермической и политропной атмосфере.

3. Применяя известные формулы численного дифференцирования и интегрирования, оцените распределение составляющих скорости ветра с высотой на различных широтах. Постройте график изменения зональной составляющей геострофического ветра с высотой. Величину μ принять равной $100 \text{ м}^2/\text{с}$.

4. Постройте меридиональные разрезы рассчитанных составляющих скорости, откладывая по оси ординат высоту в километрах, а по оси абсцисс широту. Сравните полученные графики с известными из климатологии. Укажите возможные причины наблюдаемых различий.

5. Используя данные о распределении с высотой температуры лучистого равновесия на различных широтах (см. задание 7), оцените значения давления, плотности и составляющих скорости на различных высотах. Сравните полученные результаты с соответствующими данными, полученными при реальном распределении температуры с высотой.

6. Оцените величины потенциальной и кинетической энергии для различных широт земного шара, используя расчетные значения давления, температуры и скоростей ветра.

7. Постройте меридиональные профили различных видов энергии и сравните их между собой. Оцените, как изменится величина зональной составляющей скорости ветра на высоте 1,5 км и широте 60° с. ш., если скорость вращения Земли увеличится на 10% по сравнению с современным значением.

9. Определите, насколько должен измениться коэффициент турбулентной вязкости, чтобы увеличение скорости вращения на 10% не привело к изменению величины зональной составляющей скорости.

10. Оцените, как изменится величина зональной составляющей скорости при увеличении коэффициента турбулентной вязкости на порядок.

11. Выведите выражение для определения составляющих скоростей ветра в случае, если температура меняется с высотой по линейному закону.

12. Определите, как изменится меридиональный градиент температуры воздуха, если скорость вращения Земли возрастает в два раза.

13. Составьте программу на алгоритмическом языке ФОРТРАН для вычисления составляющих скорости, плотности и давления, если имеются 10 различных значений скорости вращения Земли и коэффициента турбулентной вязкости.

Задание 7. Рассчитайте и проанализируйте изменение различных видов энергии для широт $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots, 80^\circ$ в северном полушарии. Постройте графики изменения различных видов энергии с широтой.

Рекомендации к выполнению задания 7

1. Выведите формулу для оценки запасов потенциальной энергии столба атмосферы единичного сечения при условии, что температура является линейной функцией высоты.

2. Оцените величину отношения внутренней энергии к потенциальной на различных широтах, принимая во внимание, что температура у земли равна средней зональной температуре, а вертикальный градиент составляет $0,6^\circ/100$ м.

3. Оцените величины внутренней и потенциальной энергии на различных широтах северного полушария, если распределение температуры с высотой определено при условиях лучистого равновесия. При вычислении интегралов следует использовать одну из формул численного интегрирования.

4. Определите значения кинетической энергии на различных широтах земного шара, используя для определения скорости ветра формулы (1.4.5 и 1.4.6).

5. Определите отношение кинетической энергии к полной потенциальной энергии для различных широт земного шара, используя для распределения температуры с высотой следующие модели:

а) фактические значения средних зональных температур (табл. 1.4.9);

б) температура — линейная функция высоты, $\gamma = 0,6^\circ/100 \text{ м}$;

в) температура не изменяется с высотой (изотермическая атмосфера);

г) распределение температуры с высотой определяется при условии лучистого равновесия.

Постройте графики распределения этого отношения с широтой.

6. Оцените величину меридионального потока кинетической энергии для различных широт северного полушария. Постройте график зависимости потока от широты и проанализируйте его.

7. Сопоставьте между собой величины зональной и меридиональной кинетической энергии для различных широт северного полушария. Постройте и проанализируйте график изменения этих видов энергии с широтой.

8. Определите, как изменится величина кинетической энергии на широте 60° , если скорость вращения Земли возрастет на 20%.

9. Оцените, к какому увеличению кинетической энергии на широте 40° приведет уменьшение на 30% полной потенциальной энергии на этой же широте.

10. Составьте программу вычисления основных видов энергии на языке ФОРТРАН.

Задание 8. Рассчитайте и проанализируйте изменения с широтой поведения интегральных характеристик атмосферной циркуляции, перечисленных на с. 52.

Рекомендации к выполнению задания 8

1. Используя данные таблиц 1.4.10—1.4.12, рассчитайте значения интегральных характеристик. Результаты расчетов для каждой широты удобно представить в виде таблицы.

2. Оценив значения интегральных характеристик для отдельных широт северного полушария (10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70°), рассчитайте значения $[E_v]$, $[E_\phi]$, b' , S , k , I , M , $[\Omega_z]$. Результаты расчетов представьте в виде таблицы.

3. Постройте график изменения основных интегральных характеристик с широтой и проанализируйте их поведение.

4. Оцените вклад средней энергии и энергии пульсационного движения в общую кинетическую энергию на различных широтах. Проследите изменение этого вклада с широтой.

5. Составьте программу расчета основных интегральных характеристик атмосферной циркуляции на языке ФОРТРАН.

Задание 9. Определите роль процессов различного масштаба в формировании зональных полей скоростей ветра, а также их вклад в кинетическую энергию и перенос количества движения на различных широтах северного полушария.

Рекомендации к выполнению задания 9

1. Используя значения температуры и скоростей ветра в узлах широтно-долготной сетки на поверхности 500 гПа, вычислите значения коэффициентов Фурье на широтах $20-60^\circ$ северного полушария для 10 волновых чисел ($n=1-10$). Результаты представьте в виде таблицы. При вычислении интегралов необходимо пользоваться одной из формул численного интегрирования.
2. Постройте график изменения величин $C_n(X)$ и $\Psi_n(X)$ по волновым числам и с широтой. По оси абсцисс отложите значения широты в градусах, а по оси ординат — волновое число.
3. Определите, на какие масштабы возмущений приходится основная доля турбулентной энергии и интенсивности переноса количества движения.
4. Составьте программу на алгоритмическом языке ФОРТРАН для расчета спектральных характеристик атмосферной циркуляции.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит роль атмосферной циркуляции как климатообразующего фактора?
2. Что называют центрами действия атмосферы? Почему они возникают и где располагаются в зависимости от сезонов? Какова их вертикальная мощность?
3. Каковы характерные особенности полей геопотенциала в тропосфере и стратосфере? Что такое высокие и высотные барические образования?
4. Какие преобладающие направления ветра наблюдаются в низких, умеренных и высоких широтах в январе и июле? В чем состоит климатообразующая роль пассатов, экваториальных муссонов, муссонной циркуляции и других потоков общей циркуляции атмосферы у поверхности земли?
5. Какова роль зональной и меридиональной циркуляции в климатообразовании? Какова структура зональной и меридиональной циркуляции в январе и июле?
6. Почему возникают длинные волны в атмосфере и какова их климатообразующая роль?
7. Какова роль струйных течений в климатообразовании? На каких широтах и высотах они чаще всего формируются? Какие ветви струйных течений наиболее интенсивны?
8. Какова роль средних волн атмосферы в климатообразовании? В каких районах чаще всего наблюдаются циклоны и антициклоны и какова их роль в климатообразовании?
9. Какова роль климатологических фронтов в формировании климатов? Какие ветви лучше выражены в январе и июле и их месторасположение?
10. Какова роль коротких волн в формировании климата?

Таблица 1.4.1

Средняя скорость зональной составляющей ветра (м/с).
Северное полушарие. Январь.

Высота, км	Широта, °									
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	-0,5	-0,5	0,2	1,1	2,0	1,5	0,0	-2,5	-3,2	-1,8
1	0,2	-0,2	0,8	1,8	3,0	4,0	2,0	-2,0	-5,0	-1,8
2	0,7	0,2	2,0	3,0	5,5	8,0	6,0	-1,0	-6,0	-1,9
3	1,2	0,5	2,3	4,0	6,8	10,0	9,0	2,0	-6,0	-2,0
4	1,8	1,0	2,8	5,0	8,0	12,0	12,0	4,0	-3,0	-2,5
5	2,2	1,2	3,2	6,0	9,0	14,0	14,0	6,0	-2,5	-3,0
6	2,4	1,5	3,5	6,5	10,0	15,0	16,0	8,0	0,0	-3,2
7	2,6	1,8	4,0	7,2	11,0	16,5	19,0	10,0	2,0	-2,7
8	2,7	2,2	4,8	8,0	12,0	19,0	22,0	12,0	3,0	-2,5
9	3,0	2,4	5,7	8,8	14,0	21,0	25,0	15,0	4,0	-0,2
10	3,2	3,3	6,2	9,5	14,5	23,0	30,0	18,0	5,0	-1,5
11	3,5	3,6	7,5	10,2	14,6	23,0	32,0	19,0	5,5	-1,2
12	4,0	4,0	7,7	10,8	14,8	23,5	37,0	19,5	6,0	-1,0
13	6,0	4,5	8,0	11,2	15,0	24,0	30,0	19,0	6,0	-1,0
14	6,2	4,2	8,5	12,0	16,1	23,5	28,0	17,0	5,8	-2,0
15	5,0	3,7	9,5	13,0	16,2	22,0	24,0	14,0	5,0	-2,8
16	4,5	3,2	10,0	14,0	16,6	22,5	22,0	12,0	4,0	-3,5
17	3,0	3,0	11,0	16,0	17,0	20,0	20,0	9,0	2,0	-4,0
18	2,5	3,2	12,0	18,0	17,5	18,0	13,0	7,0	0,0	-5,0
19	2,0	4,0	13,5	19,5	18,0	16,0	10,0	5,0	-1,0	-5,5
20	1,8	6,0	15,0	21,0	18,3	14,0	8,0	2,0	-2,5	-6,0
21	4,0	8,0	17,0	22,0	18,6	12,0	6,0	0,2	-3,7	-8,0
22	6,0	10,0	19,0	24,0	19,0	11,0	5,0	-0,5	-5,0	-8,5
23	9,0	12,0	20,0	26,0	19,3	10,5	4,0	-1,0	-6,3	-9,5
24	12,0	16,0	24,0	28,0	19,6	10,0	3,5	-1,8	-8,0	-10,5
25	14,0	18,0	26,0	30,0	20,0	9,0	3,0	-2,0	-8,3	-11,5

Таблица 14.2

Средняя скорость зональной составляющей ветра (м/с).
Южное полушарие: Январь.

Высота, км	Широта, °								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0				3,0	5,0	3,2	-0,8	-2,3	-1,7
1			-2,0	4,5	10,0	5,0	-0,5	-2,2	-1,8
2			-1,0	6,0	13,0	8,0	1,0	-2,0	-1,6
3		0,0	-0,2	8,0	15,0	10,0	3,0	-1,6	-1,6
4	0,2	0,4	1,0	9,0	17,0	11,0	5,0	-0,5	-1,4
5	0,4	0,8	2,0	10,0	18,0	13,0	6,0	0,2	-1,2
6	1,0	1,2	4,0	12,0	19,0	14,0	7,0	1,5	-1,0
7	1,5	1,7	5,0	14,0	21,0	16,0	8,5	3,0	-1,1
8	2,0	2,0	6,0	15,0	22,5	17,0	10,0	4,0	-1,3
9	2,0	2,3	6,2	15,5	23,5	19,0	12,0	5,0	-1,4
10	1,8	2,1	6,4	15,0	23,5	21,0	14,0	7,0	-0,5
11	1,4	2,0	6,2	14,5	22,0	22,0	16,0	8,0	-0,2
12	1,0	1,6	5,7	13,0	20,5	23,0	19,0	8,2	-0,3
13	0,7	1,4	5,0	11,0	18,0	22,0	18,0	8,0	-2,0
14	0,2	1,2	4,0	9,0	17,0	19,0	16,0	6,5	-3,0
15	0,0	0,8	3,5	8,0	14,0	16,0	12,0	5,0	-4,0
16	-0,3	0,5	3,0	6,5	11,5	13,0	10,5	3,0	-4,2
17	-0,6	0,0	2,5	5,5	10,0	11,0	8,0	1,0	-5,0
18	-1,0	-0,2	2,2	4,5	8,0	9,0	6,5	0,0	-5,5
19	-1,3	-0,5	1,5	3,8	6,5	7,0	5,0	-2,0	-6,5
20	-1,5	-1,0	1,0	2,7	5,0	5,0	2,0	-3,0	-8,0
21	-1,8	-1,3	0,5	1,2	3,0	2,5	0,0	-4,5	-10,0
22	-2,0	-1,8	-0,2	0,3	1,0	0,0	-2,0	-6,0	-11,0
23	-2,3	-2,2	-0,8	-2,0	-2,0	-2,0	-5,0	-8,0	-12,0
24	-2,6	-2,7	-2,3	-4,0	-4,0	-5,0	-7,5	-10,0	-16,0
25	-3,0	-3,0	-4,2	-6,0	-6,0	-7,0	-9,0	-11,5	-17,0

Таблица 1.43

Средняя скорость зональной составляющей ветра (м/с).
Северное полушарие. Июль.

Высота, км	Широта, °									
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	1,0	2,0	-0,3	0,5	0,5	0,5	-0,2	-1,2	-1,5	-1,0
1	2,0	1,2	0,0	1,0	2,0	1,6	0,0	-1,8	-2,3	-2,0
2	3,0	1,6	1,2	2,0	4,0	2,2	0,2	-2,2	-2,6	-2,4
3	4,0	1,8	2,0	3,4	5,5	4,0	0,6	-2,4	-3,0	-2,6
4	6,0	2,5	2,5	4,2	6,5	6,0	1,0	-2,6	-3,5	-3,0
5	6,5	3,2	3,0	5,0	7,5	7,0	1,3	-2,7	-4,0	-3,5
6	6,2	4,0	3,6	5,8	8,5	8,0	2,6	-2,5	-4,2	-4,0
7	3,8	4,5	4,2	6,2	9,5	10,0	2,0	-2,2	-4,5	-4,5
8	3,0	5,0	4,7	6,8	10,4	12,0	3,0	-1,8	-4,8	-4,7
9	1,8	4,4	4,8	7,5	11,5	14,0	4,0	-0,4	-5,0	-5,0
10	1,6	4,0	4,5	7,8	12,0	15,0	5,0	0,2	-5,1	-5,2
11	1,4	3,0	4,1	8,0	13,0	16,5	5,2	0,0	-6,0	-5,5
12	0,9	2,4	3,5	7,6	13,0	20,0	5,4	1,0	-7,0	-6,0
13	0,4	1,8	2,5	6,6	12,0	18,0	5,0	-2,0	-8,0	-6,5
14	0,0	1,4	1,8	6,0	10,0	12,0	4,0	-4,0	-9,0	-7,0
15	-0,1	0,9	1,6	4,0	8,5	11,0	2,0	-6,0	-10,0	-8,0
16	-0,3	0,5	0,8	3,0	7,0	8,2	0,0	-8,0	-11,0	-9,0
17	-0,5	0,0	0,5	2,0	5,0	7,0	-2,0	-10,0	-12,3	-11,5
18	-0,8	-0,5	0,0	1,0	3,0	4,0	-4,0	-12,0	-14,2	-12,0
19	-1,2	-1,0	-0,8	-0,2	1,0	2,0	-6,0	-14,0	-16,2	-12,5
20	-1,5	-0,7	-1,5	-2,0	-1,0	-1,0	-8,0	-16,0	-18,2	-13,0
21	-1,6	-0,5	-2,0	-2,5	-2,0	-2,2	-10,0	-17,0	-19,0	-13,2
22	-2,0	-2,0	-2,4	-3,5	-3,5	-4,0	-12,0	-19,0	-19,5	-13,3
23	-2,2	-2,2	-3,7	-4,5	-5,0	-6,8	-14,0	-21,0	-19,8	-13,5
24	-2,4	-2,4	-4,2	-5,5	-6,2	-9,0	-16,0	-23,0	-19,7	-13,2
25	-2,5	-2,5	-4,3	-6,1	-7,3	-11,0	-17,0	-24,0	-18,2	-13,0

Таблица 1.4.4

Средняя скорость зональной составляющей ветра (м/с).
Южное полушарие. Июль.

Высота, км	Широта, °								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0				2,0	4,0	3,6	0,6	—2,1	—2,4
1			—0,2	5,0	8,0	6,0	3,0	—1,0	—2,2
2			1,0	7,0	12,0	9,0	6,0	1,0	—1,8
3		2,0	2,0	9,0	14,0	12,0	8,0	2,5	—1,6
4	1,0	3,5	4,0	10,0	13,8	15,0	10,0	4,0	—0,4
5	1,3	4,2	5,0	11,0	13,6	16,0	14,0	6,0	—0,2
6	1,6	4,3	6,0	14,0	16,0	16,5	15,5	9,0	0,0
7	2,0	4,1	7,0	16,0	19,0	17,5	18,0	12,0	2,0
8	2,7	4,3	8,0	20,0	20,5	19,0	21,0	15,0	2,2
9	3,4	5,8	11,0	22,0	21,0	20,0	25,0	18,0	3,5
10	4,0	7,0	13,0	22,0	21,5	24,0	29,0	21,0	4,0
11	4,2	8,5	15,0	24,0	22,0	28,0	34,0	24,0	4,0
12	4,5	9,5	17,0	26,0	24,0	29,0	36,0	26,0	4,2
13	4,9	10,0	18,0	28,0	25,0	28,0	34,0	22,0	4,0
14	5,3	10,2	19,0	29,0	24,5	27,0	30,0	18,0	4,0
15	5,7	10,2	19,5	29,3	24,0	25,0	28,0	17,0	4,0
16	6,0	10,0	20,0	30,0	23,0	23,0	25,0	15,0	4,0
17	6,2	11,0	21,0	30,5	22,8	22,0	22,0	12,0	3,0
18	6,4	11,5	22,0	31,0	23,0	20,8	19,0	9,8	2,0
19	6,7	12,0	23,0	31,7	23,8	20,0	14,0	8,5	1,0
20	7,0	13,0	24,0	34,0	24,0	18,0	12,0	8,0	0,0
21	7,2	14,0	26,0	36,0	24,2	16,0	11,0	6,2	—0,5
22	7,4	15,0	28,0	38,0	24,2	15,0	10,0	6,0	—1,8
23	7,6	17,5	32,0	40,0	24,5	14,0	9,8	5,2	—2,0
24	7,8	19,5	34,0	40,0	24,2	13,0	9,2	4,8	—2,1
25	8,0	20,5	36,0	39,0	24,0	12,0	9,0	4,3	—2,2

Таблица 1.4.5

Средняя скорость меридиональной составляющей ветра (м/с).
Северное полушарие. Январь.

Высота, км	Широта, °									
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	-0,2	0,2	-0,2	0,2	0,6	0,2	-0,6	-2,3	-2,0	-0,3
1	-0,2	0,1	-0,2	0,0	0,1	0,2	-0,5	-1,5	-2,2	-0,5
2	-0,1	0,4	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-1,0	-1,5	-1,1
3	-0,1	0,5	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,4	-0,8	-1,0
4	0,0	1,0	0,3	0,0	-0,3	-0,3	0,0	-0,3	-0,5	-0,4
5	0,4	1,3	0,5	0,1	-0,4	-0,5	0,1	-0,2	-0,3	-0,2
6	0,8	1,6	0,7	0,3	-0,3	-0,5	0,2	0,0	0,0	0,0
7	1,2	1,8	1,0	0,4	0,0	-0,1	0,3	0,5	0,3	0,3
8	1,2	2,1	1,1	0,5	0,2	0,2	0,5	1,0	0,8	0,7
9	1,0	2,1	1,3	0,5	0,1	0,1	0,5	1,3	1,1	0,9
10	0,6	1,9	1,5	0,5	0,0	0,0	0,5	1,5	1,5	1,2
11	0,4	1,8	1,6	0,5	-0,5	-0,2	0,4	1,5	1,9	1,5
12	0,3	1,9	1,7	0,3	-0,7	-0,5	0,3	1,3	1,8	1,9
13	0,2	2,1	1,9	0,2	-0,8	-0,5	0,1	1,1	1,8	1,9
14	0,1	2,2	1,9	0,1	-1,1	-0,4	-0,2	0,8	1,5	1,5
15	0,0	2,1	1,8	0,0	-1,0	-0,4	-0,5	0,6	1,3	1,2
16	-0,1	2,0	1,5	0,0	-0,9	-0,5	-0,7	0,3	1,0	0,8
17	-0,2	1,5	1,2	-0,2	-0,9	-0,9	-0,8	0,0	0,8	0,5
18	-0,3	0,8	0,8	-0,3	-0,8	-1,0	-0,7	-0,2	0,4	0,4
19	-0,6	0,3	0,3	-0,4	-0,6	-1,0	-0,5	-0,2	0,4	0,3
20	-0,6	0,0	0,2	-0,5	-0,7	-0,8	-0,4	-0,1	0,4	0,3
21	-0,6	-0,3	-0,2	-0,6	-0,7	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,1
22	-0,7	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	0,1	0,1	0,0
23	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3	-0,2	0,0	-0,1	-0,1
24	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1
25	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2

Таблица 1.4.6

Средняя скорость меридиональной составляющей ветра (м/с).
Южное полушарие. Январь.

Высота, км	Широта, °								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0				-0,7	-1,6	-0,1	0,2	0,3	0,2
1			-0,1	-0,2	-0,5	-0,2	0,1	0,1	0,0
2			0,5	0,1	0,1	0,0	-0,2	-0,3	-0,6
3		0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,2	-0,4
4	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0
5	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,1	0,1	0,1	0,1
6	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,1	0,1	0,2	0,2
7	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,3
8	0,1	0,0	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,4	0,5	0,5
9	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,6	0,8	0,7
10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	1,0	0,8
11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8
12	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
13	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
14	0,1	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4
15	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
16	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,3
17	0,1	0,1	-0,1	-0,3	-0,1	0,1	0,4	0,4	0,3
18	0,1	0,1	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,5	0,4	0,3
19	0,1	0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	0,4	0,4	0,3
20	0,1	0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,3	0,2
21	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1
22	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0
23	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1
24	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1
25	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2

Таблица 1.4.7

Средняя скорость меридиональной составляющей ветра (м/с).
Северное полушарие. Июль.

Высота, км	Широта, °									
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	0,4	0,3	-0,1	0,2	0,7	0,3	-0,2	-0,5	0,5	2,0
1	0,4	0,5	-0,1	0,2	0,5	0,3	0,0	0,0	0,5	1,5
2	0,4	0,6	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,8
3	0,3	0,4	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	0,0	0,1	-0,2	0,5
4	0,3	0,4	-0,1	-0,5	-0,5	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0
5	0,3	0,3	0,0	-0,6	-0,7	-0,4	-0,1	0,2	0,1	-0,1
6	0,3	0,3	0,1	-0,5	-0,5	-0,2	0,0	0,3	0,2	-0,2
7	0,3	0,4	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,5	0,4	0,2	0,0
8	0,3	0,4	0,0	0,1	0,0	0,3	0,9	0,4	0,2	0,1
9	0,4	0,6	0,0	0,1	0,0	0,5	1,1	0,5	0,1	0,1
10	0,4	0,7	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0
11	0,4	0,7	0,0	-0,3	-0,5	-0,5	0,0	0,3	-0,1	-0,5
12	0,4	0,7	0,0	-0,3	-0,8	-1,0	-0,5	0,0	-0,1	-1,0
13	0,4	0,8	0,0	-0,3	-0,7	-2,0	-0,7	-0,1	-0,2	-1,2
14	0,4	0,7	0,0	-0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,4	-0,3	-1,0
15	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,8
16	0,4	0,5	0,1	0,1	0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,5
17	0,4	0,4	0,1	0,2	0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4
18	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2
19	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0
20	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	0,1
21	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,0	0,1	0,1
22	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1
23	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,2	0,2	0,2
24	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
25	0,3	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

Таблица 1.4.8

Средняя скорость меридиональной составляющей ветра (м/с).
Южное полушарие. Июль.

Высота, км	Широта, °								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0				-0,1	-0,5	0,0	1,0	2,0	2,7
1			0,6	0,5	-0,4	-0,1	0,2	0,8	1,5
2			0,5	0,4	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,8
3		0,0	-0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,2	-0,2	-0,3
4	-0,2	-0,5	-0,4	-0,2	0,1	0,2	0,0	-0,4	0,0
5	-0,5	-1,7	-0,9	-0,2	0,1	0,3	0,2	-0,5	-0,5
6	-0,6	-1,5	-0,8	-0,2	0,3	0,5	0,5	-0,2	-0,6
7	-0,7	-0,9	-0,5	-0,2	0,5	0,9	0,8	0,0	-0,4
8	-0,7	-0,9	-0,4	-0,1	0,6	1,0	1,0	0,4	-0,2
9	-0,7	-1,0	-0,5	-0,1	0,5	1,1	1,2	0,5	0,1
10	-0,8	-1,2	-0,8	-0,1	0,2	1,0	1,2	0,5	0,0
11	-0,9	-1,3	-0,8	-0,5	0,0	0,4	1,0	0,3	-0,4
12	-0,8	-1,0	-0,8	-0,5	-0,1	0,3	0,8	0,0	-0,7
13	-0,8	-0,9	-0,6	-0,3	0,0	0,3	0,7	0,0	-1,5
14	-0,7	-0,8	-0,4	0,0	0,2	0,3	0,6	-0,2	-1,6
15	-0,7	-0,7	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	-0,2	-1,5
16	-0,7	-0,7	-0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	-0,2	-1,0
17	-0,7	-0,6	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4	-0,2	-0,7
18	-0,7	-0,5	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	-0,2	-0,5
19	-0,6	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	-0,2
20	-0,6	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	-0,1
21	-0,5	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
22	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
23	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
24	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
25	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2

Таблица 1.4.9

Зональные значения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на основных
изобарических поверхностях (Северное полушарие)

Уровень, гПа	Широта, $^{\circ}$									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Годовая										
Уровень										
моря	26,4	26,9	26,0	21,5	14,6	5,5	-0,6	-9,2	-15,5	-19,4
850	18,4	18,6	17,1	13,5	6,8	0,3	-4,7	-9,5	-13,6	-15,1
700	9,8	9,8	9,1	5,4	-0,8	-7,1	-11,7	-15,4	-18,9	-20,6
500	-5,9	-5,8	-7,2	-10,9	-16,7	-22,2	-26,4	-29,7	-32,8	-34,4
300	-32,1	-31,4	-33,5	-37,0	-42,2	-46,5	-49,4	-51,4	-52,8	-53,7
200	-53,3	-52,6	-53,6	-54,2	-54,7	-53,9	-52,9	-52,0	-51,3	-51,8
100	-79,7	-78,5	-74,6	-68,4	-60,2	-54,3	-52,4	-52,2	-52,6	-52,4
50	-66,7	-66,0	-63,7	-60,8	-57,1	-53,6	-52,3	-53,0	-53,8	-53,9
30	-56,1	-55,6	-54,5	-53,5	-52,7	-52,4	-52,8	-53,6	-54,2	-54,8
10	-41,4	-41,3	-41,3	-41,7	-43,1	-45,3	-47,4	-49,4	-50,6	-51,1

Январь										
Уровень										
моря	27,0	26,0	22,0	15,0	5,0	-7,0	-14,0	-25,0	-29,0	-33,0
850	17,9	17,8	13,9	7,4	-1,1	-9,4	-14,7	-19,0	-22,5	-23,0
700	10,1	10,1	6,8	0,4	-8,0	-15,0	-19,9	-23,4	-26,8	-29,4
500	-5,4	-5,5	-8,7	-15,3	-23,6	-29,4	-34,5	-37,4	-40,2	-42,0
300	-31,7	-31,7	-35,0	-40,6	-47,9	-51,8	-54,3	-56,4	-58,4	-60,0
200	-53,0	-53,2	-54,5	-55,2	-55,4	-55,1	-56,0	-58,0	-60,6	-62,6
100	-80,8	-79,3	-75,5	-68,3	-58,8	-54,2	-56,5	-61,6	-65,7	-68,0
50	-69,7	-68,6	-65,6	-62,0	-57,3	-54,8	-57,8	-63,1	-68,6	-70,0
30	-58,9	-57,9	-56,5	-55,0	-53,9	-55,1	-58,9	-65,3	-69,6	-72,0
10	-44,5	-44,1	-43,6	-43,7	-45,0	-49,5	-54,8	-62,3	-70,4	-73,2

Июль										
Уровень										
моря	26,0	27,0	28,0	27,0	24,0	17,0	13,0	8,0	1,0	-2,2
850	17,6	18,3	19,2	19,0	16,7	11,4	8,0	4,4	-0,3	-2,6
700	9,3	9,7	11,0	10,2	7,6	2,8	-0,7	-3,2	-6,7	-8,5
500	-6,4	-5,8	-5,7	-6,2	-8,6	-12,5	-15,9	-18,2	-21,3	-23,0
300	-34,6	-31,7	-31,4	-31,5	-34,3	-38,9	-42,2	-44,1	-45,3	-45,5
200	-54,5	-53,0	-52,7	-50,7	-52,2	-51,4	-49,3	-46,5	-42,9	-41,5
100	-77,5	-76,6	-73,5	-69,2	-62,0	-53,6	-48,0	-44,6	-41,7	-40,5
50	-63,8	-63,1	-61,4	-59,2	-55,5	-50,3	-46,3	-49,6	-40,3	-39,5
30	-54,4	-53,9	-52,6	-51,1	-49,4	-47,4	-45,3	-42,8	-39,9	-39,5
10	-41,2	-41,0	-39,9	-38,8	-37,9	-36,7	-35,2	-33,5	-31,7	-31,0

Таблица 1.4.10

Составляющие скорости ветра в узлах широтно-долготной сетки. Северное полушарие. Январь. 850 гПа.

Широта, °																
$\lambda, ^\circ$	0		10		20		30		40		50		60		70	
	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y
1	2		3		4		5		6		7		8		9	
0	-0,4	-0,8	-5,8	-1,8	-1,8	-1,1	1,5	-2,1	3,8	-0,5	4,3	-0,4	4,0	-0,2	3,0	-0,5
10 в. д.	0,2	-0,7	-6,1	-2,6	-0,8	-0,8	2,6	-0,8	4,5	-2,1	4,2	-0,8	3,6	-1,1		
20	-0,2	-1,2	-4,5	-3,0	-0,9	-1,1	4,8	-0,4	2,1	-0,6	4,1	-2,1	4,4	-1,5	2,8	-2,0
30	-0,1	-1,4	-3,3	-3,5	-1,0	-3,7	4,3	-0,3	1,8	1,2	4,5	-1,1	3,9	-1,4		
40	0,0	-1,0	-4,2	-1,7	-0,8	-2,0	3,1	1,0			4,4	0,2	4,2	0,0	2,5	-2,1
50	1,0	-1,2	-4,8	-1,0	-0,1	-1,5	2,0	0,1	6,0	0,4	4,2	1,6	5,0	0,9		
60	2,0	-1,3	-5,6	-0,6	-1,0	-0,8	1,5	-0,3	2,2	2,3	3,5	2,5	6,2	2,1	3,0	-0,7
70	4,0	-1,4	-5,8	-2,2	-0,6	-0,5					4,3	2,4	7,0	2,2		
80	4,2	-2,9	-5,5	-1,9	0,0	0,0					3,0	2,1	8,0	2,3	3,1	0,2
90	4,0	-4,2	-6,0	-2,2	1,0	-3,0			-0,1	-0,9			9,5	1,8		
100	3,8	-4,1	-5,9	-2,1	0,5	2,2			1,7	0,0			9,4	0,8	3,4	1,6
110	2,5	-2,5	-5,5	-2,6	-3,0	0,0	0,1	-1,0					8,0	0,0		
120	-1,0	-0,9	-6,2	2,0	-2,4	0,2	4,3	-2,0	6,2	-6,1	3,5	-6,2	5,5	-1,8	3,0	1,4
130	-1,5	-0,6	-8,0	-0,9	-2,0	-1,8	-8,0	-4,0	6,8	-5,0	2,8	-5,5	2,5	-3,0		
140	-2,0	-0,5	-8,2	-0,6	-1,5	-1,5	9,5	-0,5	8,9	-1,8	3,0	-5,6	-0,8	-2,9	1,0	1,2
150	-3,0	-0,7	-8,4	-1,0	-1,3	-0,8	10,0	0,1	8,5	-1,6	2,3	+2,6	-4,0	-1,2		
160	-3,8	-0,9	-8,5	-1,1	-1,7	-0,4	9,1	0,2	7,6	0,8	1,2	-2,2	-3,9	0,0	1,0	0,8

Окончание табл. 1.4.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9								
170° в. д.	-4,8	-1,1	-8,3	-0,9	-1,4	-0,5	6,7	0,1	6,2	2,0	0,4	0,0	-3,8	0,1	-1,3	0,3
180	-5,6	-1,2	-7,8	-0,7	-1,0	-0,3	5,0	0,8	5,0	3,0	0,6	2,1	-3,0	-0,2	-1,3	0,3
170 з. д.	-6,2	-1,2	-6,4	-0,4	-1,1	0,5	4,1	2,3	5,1	4,1	1,0	2,8	-2,5	0,7	-2,2	0,2
160	-6,0	-1,1	-6,0	-0,3	-0,8	2,1	3,3	3,8	6,1	4,3	2,4	3,2	-1,8	1,2	-2,2	0,2
150	-5,0	-1,1	-5,2	-0,3	-0,6	2,2	2,5	4,1	6,2	4,5	4,2	4,0	-2,1	1,7	-1,0	-0,5
140	-3,0	-1,0	-4,8	-0,4	-0,5	1,5	2,0	4,0	4,4	4,3	4,1	4,2	-1,0	3,0	-1,0	-0,5
130	-1,9	-0,8	-4,5	-0,5	-0,6	0,5	1,9	1,8	3,0	4,1	3,5	4,1	1,0	2,4	1,0	-0,5
120	-1,8	-0,5	-4,3	-0,5	-1,5	0,1	1,0	0,2					3,0	-3,8	2,1	-5,3
110	-1,7	-0,7	-4,1	-0,6	-1,4	-0,1					6,1	-4,1	4,3	-4,8		
100	-1,6	-1,5	-3,0	-0,7			4,1	1,7	4,4	-4,0	6,9	-4,8	4,1	-4,5	1,0	-5,0
90	-1,5	-4,0	-3,4	-5,1	-2,1	1,0	6,0	0,5	8,2	-1,9	7,0	-3,5	3,5	-3,8		
80	-1,8	-5,0	-5,8	-2,5	-4,0	-0,2	6,5	1,2	10,2	-1,0	6,5	-2,0	2,7	0,0	0,1	-1,4
70	-3,8	-5,4	-8,0	-1,0	-3,9	0,1	6,7	0,7	9,4	-1,3	5,6	-2,5	2,1	0,5		
60	-5,0	-6,0	-7,9	-0,9	-3,8	0,2	6,9	0,8	10,2	0,4	5,1	-2,2	1,6	1,0	0,0	2,0
50	-5,2	-6,1	-6,7	-0,6	-3,5	0,3	6,0	1,6	10,4	2,2	5,8	1,0	0,3	2,0		
40	-3,8	-1,0	-4,7	-0,5	-3,0	-0,1	4,4	1,0	9,2	3,2	7,3	4,2	-1,0	4,6		
30	-2,2	-0,6	-3,0	-0,8	-2,4	-1,2	2,6	-0,4	7,0	1,8	7,9	5,2	1,3	5,2		
20	-1,0	-1,0	-3,8	-1,9	-2,2	0,2	1,0	-1,1	4,4	1,1	6,5	4,5	4,0	2,0	1,0	-1,0
10	-1,1	-2,0	-4,1	-1,7	-2,3	-0,4	2,0	0,8	3,0	0,4	3,8	2,0	4,7	-0,2		

Таблица 1.4.11

Составляющие скорости ветра в узлах широтно-долготной сетки. Северное полушарие. Январь. 700 гПа.

$\lambda, ^\circ$	Широта, $^\circ$											
	0	10	20	30	40	50	60	70				
1	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y	v_x v_y
0	-7,5 -0,8	-4,0 2,0	3,3 0,0	5,6 -1,9	5,5 -3,1	6,1 -1,2	5,5 -1,0	5,2 -1,0				
10 в.д.	-6,8 -2,7	-3,0 0,6	3,6 0,0	7,8 -1,8	5,0 -3,0	6,2 -1,6	4,8 -2,5	4,4 -4,1				
20	-6,2 -4,4	-2,5 0,0	3,7 -0,8	8,2 -1,4	4,2 -0,5	5,5 -2,2	5,1 3,8	4,4 -4,1				
30	-5,5 -4,2	-1,8 -1,4	4,2 -1,4	8,5 0,0	5,6 1,8	5,8 -1,2	5,0 -2,5	3,5 -1,9				
40	-4,1 -2,0	-1,7 1,0	5,6 -1,0	8,1 -0,3	6,3 1,5	7,8 1,0	6,0 0,0	4,6 0,6				
50	-1,5 -0,7	-2,0 -0,8	6,0 -0,6	7,0 -0,4	8,1 0,4	8,0 1,6	7,0 0,6	5,7 -0,8				
60	1,0 -0,5	-3,0 -0,5	5,5 -0,8	6,0 -0,8	6,0 2,7	6,5 3,0	8,6 1,6	4,6 0,6				
70	4,0 -0,6	-3,1 -0,6	4,4 -2,0	5,8 0,3	4,0 2,0	5,6 1,8	10,0 1,4	4,6 0,6				
80	4,1 -0,8	-2,8 -0,9	4,5 -0,8		3,0 -0,1	6,0 0,4	10,6 0,2	5,7 -0,8				
90	3,0 -0,5	-2,5 -0,8	6,0 -0,5		4,2 -1,7	5,0 -2,7	11,5 -1,5	5,6 -0,4				
100	2,5 -1,0	-2,8 -0,3	6,8 1,0		4,5 -3,0	5,8 -5,2	11,0 -3,2	5,6 -0,4				
110	1,0 -1,0	-3,1 -0,5	6,2 0,0	5,4 -2,0	8,0 -6,6	7,6 -7,5	8,6 -4,8	3,0 1,0				
120	-0,5 -0,6	-4,1 -0,3	5,7 0,5	11,8 -2,9	10,7 -8,1	5,0 -8,2	4,5 -5,4	3,0 1,0				
130	-2,0 -0,4	-3,5 -0,4	5,3 0,4	16,2 -1,9	11,2 -5,4	3,8 -6,8	2,0 -5,0	0,1 2,0				
140	-3,3 0,0	-6,2 -0,5	5,0 -0,2	17,2 0,4	13,0 -2,5	3,9 -3,8	-0,8 -2,6	0,1 2,0				
150	-4,3 0,4	-6,3 -0,2	4,5 -0,1	17,5 1,1	15,5 -1,5	4,0 -1,6	-3,0 0,4	0,0 3,8				
160	-5,0 0,2	-6,4 -0,3	4,0 -0,3	17,0 0,2	15,3 -1,3	3,9 0,3	-3,2 2,0	0,0 3,8				

Окончание табл. 1.4.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9								
170	-5,1	0,3	-6,3	-0,2	3,0	-1,7	16,3	-1,2	14,8	-0,6	3,0	1,1	-2,7	2,2		
180	-5,3	0,0	-6,1	0,1	3,2	-0,7	15,0	-0,7	14,0	0,9	4,0	1,9	-2,1	1,6	0,3	1,8
170 з. д.	-4,7	-0,1	-4,5	-0,4	3,0	-0,3	12,4	0,9	12,8	2,2	4,5	2,7	-1,3	1,8		
160	-3,5	-0,5	-3,4	-0,4	2,4	0,8	9,6	2,0	11,7	3,2	5,0	4,0	-0,7	3,0	0,7	0,7
150	-1,8	-0,6	-2,8	-0,3	0,8	1,3	6,3	2,7	10,4	4,1	5,5	4,3	-0,1	4,1		
140	-1,6	-0,7	-2,6	-0,6	0,0	1,0	3,6	2,5	9,2	4,0	6,5	4,2	2,8	3,0	1,9	-2,5
130	-1,5	-0,8	-2,5	-0,8	0,1	0,7	3,3	0,9	8,0	1,8	7,5	2,4	6,0	-1,0		
120	-1,7	-0,8	-2,4	-0,9	0,6	0,6	4,2	-0,7	6,0	2,2	9,0	-1,0	8,1	-5,5	3,0	-7,2
110	-1,3	-0,8	-2,5	-1,1	1,1	0,7	6,7	0,0	4,2	-1,5	10,3	-5,5	7,5	-6,5		
100	-1,2	-0,8	-2,7	-1,2			9,1	0,9	8,8	-6,0	12,0	-7,0	6,0	-5,4	1,0	-4,7
90	-1,0	-0,9	-3,1	-1,5	-0,3	1,0	11,2	1,0	13,8	-3,0	10,5	-4,7	4,0	-3,5		
80	-0,4	-0,5	-3,7	-2,0	-1,5	0,5	12,2	1,5	16,0	-1,2	9,1	-2,7	3,5	0,0	-0,1	-0,4
70	-2,6	1,0	-4,8	-1,4	-2,0	0,2	11,5	0,8	16,1	0,1	8,2	-1,3	2,5	0,8		
60	-5,1	1,1	-6,0	-0,5	-1,0	-0,2	11,0	0,7	16,2	1,2	8,0	0,8	1,8	1,6	-0,3	5,5
50	-7,0	0,8	-6,1	-0,1	0,0	-0,3	9,0	1,0	15,0	2,0	9,5	2,2	1,2	3,0		
40	-8,1	-0,4	-5,5	-0,4	0,1	-0,4	6,5	0,8	13,3	3,0	11,8	5,3	1,5	3,8		
30	-8,2	-0,5	-4,8	-0,4	-0,8	-1,5	4,5	1,0	10,0	2,2	11,3	6,2	3,0	5,4		
20	-8,1	-0,4	-4,6	0,3	1,9	2,3	4,3	0,9	7,0	1,1	9,3	4,0	4,5	4,7	2,5	1,4
10	-8,0	-0,5	-4,5	0,4	2,7	2,0	5,0	1,0	5,3	-1,0	7,0	1,0	5,1	1,7		

Таблица 1.4.12
Составляющие скорости ветра в узлах широтно-долготной сетки. Северное полушарие. Январь. 500 гПа.

Широта. °																
$\lambda, ^\circ$	0		10		20		30		40		50		60		70	
	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y	v_x	v_y
1	2		3		4		5		6		7		8		9	
0	-5,5	0,8	0,0	1,5	9,8	0,4	12,0	-2,0	7,8	-4,3	9,8	-3,5	9,0	-3,2	8,5	-4,0
10 в.д.	-5,4	0,7	-2,0	0,6	11,3	0,2	14,0	-1,9	8,8	-4,0	8,4	-3,6	7,0	-4,8		
20	-4,5	0,2	-2,8	-0,1	12,0	0,3	16,3	0,0	7,8	-1,2	7,6	-2,8	8,1	-4,7	7,0	-6,2
30	-4,3	-1,1	-2,5	-0,5	12,1	0,6	18,5	1,4	8,2	1,3	9,3	-1,0	7,8	-3,0		
40	-4,1	-0,9	-2,4	-0,3	12,3	0,7	19,9	2,1	11,2	2,2	11,3	1,1	8,0	-1,0	8,5	-4,5
50	-1,5	-0,6	-2,3	-0,6	12,6	-0,5	20,0	-0,5	11,0	-0,3	12,2	1,7	10,0	0,7		
60	-0,9	-0,5	-2,0	-0,7	13,0	-0,8	19,2	-1,0	10,0	2,2	10,0	2,5	12,0	0,8	8,8	-3,3
70	-1,1	-0,7	-1,9	-0,9	13,1	-1,0	16,1	1,2	9,3	3,2	9,0	1,0	15,0	0,0		
80	-1,5	-0,8	-2,1	-1,0	12,9	-0,8	11,0	0,0	9,0	-0,3	8,0	-0,8	13,1	-1,5	9,0	-3,5
90	-2,0	-0,6	-2,7	-0,1	14,0	-0,6			9,2	-3,5	8,3	-5,0	13,0	-4,5		
100	-2,1	-0,6	-3,1	0,0	17,0	-0,3	11,5	-2,3	11,5	-5,6	10,0	-8,0	12,1	-6,5	8,0	-1,8
110	-1,8	0,0	-4,2	-0,2	18,0	0,6	12,5	-5,0	13,0	-8,6	8,8	-10,5	9,5	-6,9		
120	-1,9	0,2	-5,0	0,4	17,0	2,2	29,0	-3,5	17,3	-8,7	5,9	-10,6	6,0	-5,6	3,4	1,2
130	-3,0	0,2	-6,2	0,5	15,0	2,3	34,5	1,0	20,8	-5,3	6,0	-6,2	2,0	-3,2		
140	-5,0	0,3	-7,5	0,8	14,5	2,2	35,2	2,5	22,0	-0,5	5,0	-2,0	-1,0	0,0	1,5	4,8
150	-6,4	0,2	-9,0	0,5	12,8	1,2	32,0	2,2	21,6	2,3	5,5	2,0	-2,1	3,8		
160	-6,3	0,1	-10,1	-0,7	10,0	-0,5	28,4	0,9	21,8	2,1	4,8	3,8	-2,3	5,0	2,5	6,2
170	-5,9	-0,4	-9,0	-1,9	8,8	-2,5	25,4	-0,5	21,5	1,0	4,6	2,5	-1,0	4,4		
180																

Окончание табл. 1.4.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
180	-5,5 -0,5	-8,0 -2,3	8,5 -4,0	22,0 -1,4	20,4 0,2	4,5 1,8	-0,2 3,6	4,0 3,8
170	-4,0 -0,6	-5,8 -2,1	8,6 -3,1	19,0 -1,1	19,0 0,4	4,4 2,0	1,0 4,0	
160	-3,6 -0,4	-4,6 -1,2	8,5 -1,6	15,5 -0,3	17,0 2,0	6,5 4,3	2,6 5,1	6,0 0,5
150	-3,5 -0,3	-4,2 -0,7	5,5 -0,5	12,5 1,7	14,7 3,8	9,0 5,2	4,0 4,2	
140	-3,0 -0,2	-4,3 -0,4	3,5 0,9	8,0 2,2	13,0 3,9	11,2 4,2	7,0 1,4	7,2 -5,0
130	-3,2 -0,3	-4,4 -0,3	3,6 0,7	8,1 1,0	11,5 1,6	12,4 0,5	9,4 -1,5	
120	-3,5 -0,2	-4,3 -0,2	4,6 0,4	9,9 -0,8	11,0 -4,2	13,0 -3,0	11,5 -5,4	7,0 -7,8
110	-3,6 -0,2	-4,2 -0,1	5,4 0,7	12,8 -0,9	11,4 -6,0	14,4 -8,0	12,1 -8,1	
100	-3,5 -0,1	-4,3 0,0	6,2 1,9	16,8 1,6	15,0 -6,0	15,3 -8,3	10,0 -8,0	2,6 -5,3
90	-3,0 0,0	-4,4 1,5	6,0 3,2	20,8 2,6	21,0 -3,0	15,5 -6,4	7,0 -5,0	
80	-2,3 1,2	-5,1 0,5	4,5 1,6	21,0 2,2	24,0 -1,0	12,3 -3,5	4,8 0,0	0,0 1,5
70	-2,4 0,9	-5,2 -1,6	4,0 -1,0	20,0 1,2	25,0 1,1	12,0 -1,0	3,2 2,8	
60	-2,5 1,5	-5,0 -2,1	3,7 -1,9	18,4 1,0	24,5 1,5	14,0 2,7	3,4 5,4	-0,2 10,0
50	-2,0 1,2	-3,2 -1,7	3,3 -0,4	15,6 1,2	24,1 2,2	16,1 5,4	5,5 6,4	
40	-1,5 -0,4	-1,0 -0,6	3,7 0,5	11,0 1,5	20,0 4,2	17,0 8,7	6,0 6,3	2,0 5,0
30	-1,6 0,1	0,1 0,4	4,6 0,8	7,4 1,4	13,8 3,1	15,7 8,0	7,3 8,7	
20	-2,3 0,5	2,0 1,5	6,3 2,4	7,0 -0,7	9,6 0,0	14,0 3,5	9,0 6,0	5,3 2,4
10	-4,4 0,7	1,8 1,5	7,4 1,9	8,1 -1,7	6,3 -3,0	11,2 -1,0	10,4 -1,2	

Тема 2. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, ВЛАЖНОСТИ, ОБЛАЧНОСТИ, ОСАДКОВ

Закономерности пространственно-временного распределения метеорологических величин полностью обусловлены закономерностями распределения климатообразующих процессов и факторов. Поля метеорологических величин и их характеристик позволяют выявить наиболее характерные особенности климата, помогают понять физический смысл отдельных климатообразующих процессов и их вклад в формирование климата, дают возможность оценить климатические ресурсы отдельных материков, стран, регионов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АТМОСФЕРЫ

Цель работы — изучить особенности пространственно-временного распределения температуры воздуха у поверхности Земли, в тропосфере и стратосфере и выявить причины, формирующие неоднородности в ее распределении.

Литература

1. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Гл. 3. М., изд. МГУ, 1974.
2. Гаврилова Л. А. Аэроклиматология. Раздел 1. Л., изд. ЛГМИ, 1982.
3. Витвицкий Г. Н. Зональность климата Земли. Гл. 1, 3—5. М., Мысль, 1980.
4. Шапаев В. М. Климатология. Тема 2, 3. Л., изд. ЛГМИ, 1974.
5. Кобышева Н. В., Костин С. И., Струнников Э. А. Климатология. Гл. 2. Л., Гидрометеиздат, 1980.

Температура воздуха отражает тепловое состояние атмосферы, которое является одной из важных характеристик климата и определяется поглощением солнечной радиации подстилающей поверхностью и атмосферой, теплообменом между подстилающей поверхностью и атмосферой путем длинноволнового излучения, турбулентного теплообмена за счет вертикального переноса тепла,

связанного с фазовыми переходами воды, горизонтальным теплообменом в системе общей циркуляции атмосферы и океана, длинноволновым излучением в космическое пространство.

Тепловое состояние атмосферы зависит от географической широты и времени года, которые определяют приход радиации к системе Земля — атмосфера, поэтому распределение температуры воздуха должно носить зональный характер. Но циркуляционные факторы, неоднородность подстилающей поверхности и условий ее увлажнения приводят к нарушению зональности.

В рамках энергобалансовых моделей климат определяется как поле температуры на уровне моря, и поскольку многие геофизические характеристики обычно осредняются по широтным поясам, то поле оказывается функцией лишь одной переменной — широты. Все потоки тепловой энергии параметризуются в виде функций от этого температурного поля. Таким образом, для характеристики поля температуры на уровне моря достаточно одного уравнения — уравнения баланса энергии, которое может быть записано в виде

$$QS(x)[1 - r(x)] - I(x) = D(x), \quad (2.1.1)$$

где $x = \sin \varphi$, φ — широта; $Q = \frac{1}{4} J_0^*$ — четвертая часть солнечной постоянной; $QS(x) = Q_*/T_0$ — средняя за год суточная инсоляция, Q_* — годовая сумма инсоляции, значения которой для отдельных широт приведены в табл. 1.2.3, T_0 — длина года; $[1 - r(x)]$ — доля тепла, поглощенного системой Земля — атмосфера, $I(x)$ — энергия уходящего инфракрасного излучения с единичной площадки за единицу времени; $D(x) = \nabla D_0(x) \nabla T(x)$ — дивергенция потока тепла, переносимого через изотермы в меридиональном направлении; $D_0(x)$ — коэффициент макродиффузии; $T(x)$ — температура приземного слоя воздуха.

Как указывалось выше, величины $I(x)$, $D(x)$ и $r(x)$ с помощью тех или иных полуэмпирических формул выражают через $T(x)$, подставляют в уравнение (2.1.1) и решают его относительно $T(x)$.

В основе энергобалансовой модели М. И. Будыко лежат два основных предположения:

1. $I[T(x)]$ и $D[T(x)]$ могут быть представлены как линейные функции от $T(x)$:

$$I(x) = A + BT(x), \quad (2.1.2)$$

$$D(x) = \beta[T(x) - \bar{T}], \quad (2.1.3)$$

где $A = 12,5$ ккал/см²·мес; $B = 0,09$ ккал/см²·мес град; $\bar{T}$ — средняя планетарная температура на уровне моря; $\beta = 0,235$ ккал/см²·мес град; ∇ — оператор дифференцирования по широте.

2. Граница возникновения льдов лежит к северу от изотермы -10° и величина $r[T(x)]$ испытывает значительный скачок на этой широте:

$$r(x) = \begin{cases} r_i & \text{при } T(x) < T_h, \\ r_f & \text{при } T(x) > T_h, \end{cases} \quad (2.1.4)$$

где $r_i=0,62$ — среднее альbedo поверхности, покрытой снегом или льдом, $r_f=0,32$ — среднее альbedo свободной ото льда или снега поверхности.

Следует выделить два важных вопроса, возникающих при исследовании модели. Первый из них — это изучение «чувствительности модели», в частности, определение «чувствительных» параметров модели, малые изменения которых могут существенно влиять на решение. В энергобалансовых моделях наиболее важным из этих параметров является степень изменчивости средней температуры планеты по отношению к изменению солнечной постоянной.

Вторым важным вопросом является оценка устойчивости полученного решения. Одним из способов этой оценки является построение такого функционала F , чтобы его экстремумы давали уравнение баланса энергии (2.1.1). Тогда условием устойчивости решения будет неотрицательность второй вариации.

Такой функционал для модели М. И. Будыко был построен Г. С. Голицыным и И. И. Моховым. При этом разрывная функция $r(x)$, определяемая формулой (2.1.4), заменялась линейной зависимостью r от T в интервале $[T(x_2), T(x_1)]$:

$$r = r_0 - \frac{dr}{dT} T, \quad (2.1.4a),$$

а вне этого интервала r не зависит от T .

Тогда функционал имеет вид

$$F = - \int_0^1 \left[QS(x) \left(1 - r_0 + \frac{1}{2} \frac{dr}{dT} T \right) - A + BT_0 - \right. \\ \left. - BT/2 - B/2 \left(T - \int_0^1 T dx \right) \right] T dx, \quad (2.1.5)$$

где T_0 — температура замерзания воды.

Достаточным условием устойчивости будет

$$(B + \beta) c_2(0,1) \geq Q \frac{d\alpha}{dT} c_1(0,1) \int_{x_1}^{x_2} S(x) dx, \quad (2.1.6)$$

где $d\alpha/dT = \text{const}$, $c_1(0,1) = (\delta T)^2$ мин, $c_2(0,1) = (\delta T)^2$ макс. δT — флуктуация температуры.

Задание 1. Рассчитайте значения температуры воздуха на изобарических поверхностях 1000, 850, 700, 550, 400, 250 гПа для широт 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70° при условии лучистого равновесия.

Рекомендации к выполнению задания 1

1. Выведите выражение для изменения температуры воздуха с высотой при условии лучистого равновесия.

Граничные условия

$$F = Q_* (1 - r) \text{ при } \tau = 0,$$

$$\frac{dF}{d\tau} + F = 2B \text{ при } \tau = \tau_H,$$

где Q_* — средняя годовичная инсоляция на широте φ ; r — альbedo подстилающей поверхности; τ — оптическая толщина. Значения Q_* и r берутся из табл. 1.2.3, тема 1.

2. Пользуясь формулой А. Х. Хргиана для распределения массовой доли водяного пара с высотой $q(z) = q_0 \cdot 10^{-0,045z - 0,016z^2}$, рассчитайте значения массовой доли водяного пара и оптической толщины $\tau_{(z)}$ в слое от 1000 до 250 гПа.

Значения $q(0)$ для различных широт выбираются из табл. 1.2.3.

3. Определите значения температуры на заданных изобарических поверхностях.

4. Постройте график распределения температуры с высотой при условиях лучистого равновесия и сопоставьте полученные результаты с распределением средних зональных значений температуры с высотой.

5. Оцените величины вертикального градиента температуры в различных слоях и сопоставьте полученные результаты с известными из литературных источников.

6. Оцените, как изменится температура воздуха на уровне 500 гПа, если альbedo подстилающей поверхности увеличить на 20%.

7. Оцените, как изменится температура воздуха у поверхности земли при увеличении годовой суммы инсоляции на 10%.

Задание 2. Рассчитайте значения температуры воздуха на изобарических поверхностях — 1000, 850, 700, 550, 400, 250 гПа и на широтах 10, 20, 30, 40, 50, 60° при условии, что поток эффективного инфракрасного излучения является линейной функцией высоты.

Рекомендации к выполнению задания 2

1. Запишите уравнение для эффективного потока длинноволновой радиации, используя в качестве независимой переменной координату z .

2. Задавая эффективный поток инфракрасного излучения линейной функцией высоты $F(z) = a + bz$, получите выражение для расчета значений температуры воздуха на заданных изобарических поверхностях.

При этом следует принять, что

$$F(0) = (1 - r) S_0 \quad \text{при } z=0,$$

$$\frac{dF}{dz} + r \rho_0 F = 2 \beta r \epsilon_0 \quad \text{при } z=H,$$

$$\rho(z) = \rho(0).$$

Необходимые для расчета значения альбедо, годовой суммы инсоляции и средней зональной температуры выбираются соответственно из табл. 1.2.3, тема 1.

3. Постройте график изменения температуры с высотой и сравните полученные данные с величинами средних зональных температур на различных высотах.

4. Определите устойчивость нижнего километрового слоя атмосферы к сухадиабатическому градиенту.

5. Сравните градиенты температуры различных слоев атмосферы с соответствующими значениями градиентов, полученных по модели лучистого равновесия.

6. Оцените, как изменится значение температуры на уровне 1 км при увеличении плотности водяного пара в два раза.

7. Сравните изменение температуры с высотой при линейном изменении эффективного потока с высотой и изменение температуры с высотой в политропной атмосфере. За верхний уровень принимается высота 9 км. Среднезональная температура приводится в табл. 1.2.3, тема 1, $\gamma = 0,6^\circ/100 \text{ м}$.

Задание 3. Сравните средние широтные значения теоретической и действительной температуры воздуха и объясните причины существующих различий (табл. 2.1.1).

Задание 4. Постройте вертикальные разрезы зональной температуры воздуха для января и июля (табл. 2.1.2—2.1.4) и ответьте на вопросы.

1. Каковы характерные особенности распределения зональной температуры в тропосфере и стратосфере в зависимости от сезона? Чем различаются между собой январские и июльские поля тропосферы и стратосферы?

2. На каких широтах располагается термический экватор в январе и июле?

3. Какова вертикальная и горизонтальная протяженность приэкваториальной стратосферной области холода? Почему она возникает? Сильно ли различаются между собой январские и июльские температуры в этом очаге холода?

4. Почему над высокими широтами в теплое время года формируются в стратосфере сезонные области тепла? Над каким полушарием температура выше и почему?

5. На каких широтах в зимнем полушарии наблюдаются стратосферные области тепла? Чем объясняется их возникновение? В каком направлении они смещаются с увеличением высоты? Чем различаются эти области в северном и южном полушариях?

6. Как изменяется годовая амплитуда температуры воздуха в зависимости от широты и высоты? Есть ли различия по полушариям?

7. Какие различия существуют в распределении температуры между полушариями в тропосфере и стратосфере? Привести примеры.

8. На каких широтах отмечаются наибольшие горизонтальные градиенты температуры?

Задание 5. Проанализируйте карты распределения температуры воздуха у поверхности земли, в тропосфере и стратосфере в январе и июле (рис. 11—16) и ответьте на вопросы.

1. Какие очаги тепла и холода выделяются на приземных картах в январе и июле? Почему они формируются? За счет чего происходит нарушение зональности в распределении температуры? Какие районы самые теплые и холодные в январе и июле?

2. Что является характерной особенностью в распределении температуры воздуха в тропосфере зимой и летом? Чем различаются между собой зимние и летние поля? Почему в антарктической области холода отмечаются более низкие температуры? Почему в нижней тропосфере зимой температура воздуха над Восточной Сибирью ниже, чем над Арктикой?

3. Назовите области значительных отклонений температуры воздуха от средних зональных значений в январе и июле? Объясните причины их возникновения?

4. Какова структура полей температуры воздуха в январе и июле в стратосфере? Чем объясняется перестройка полей температуры? Чем объясняется возникновение очагов тепла летом у полюсов и зимой в умеренных широтах? Чем различаются летние и зимние поля температуры в северном и южном полушариях и чем это объясняется?

5. Назовите районы с повышенными значениями меридиональных и зональных градиентов в январе и июле?

Задание 6. Определить среднезональные значения температуры воздуха на уровне моря, соответствующие современному климату для широт 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90° считая, что широта границы льдов проходит между 70 и 80°. Расчеты провести для северного полушария.

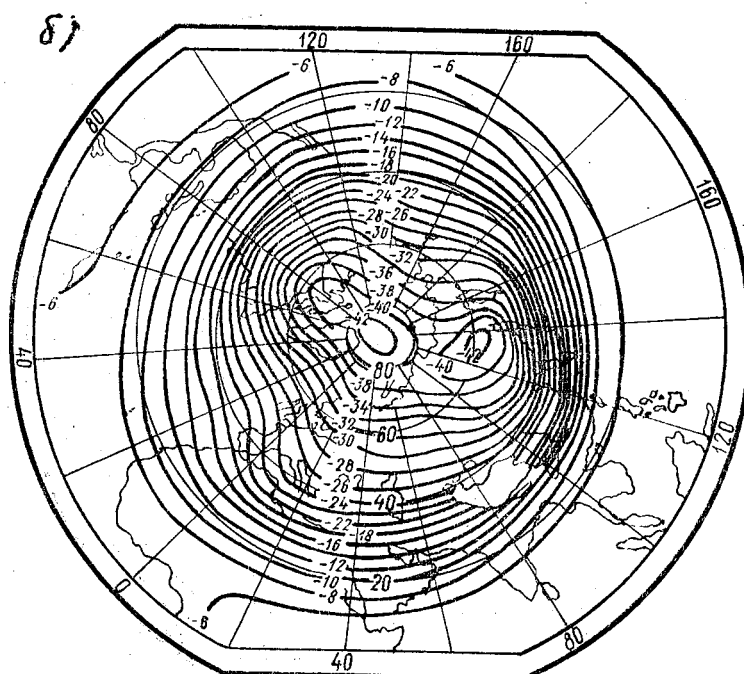
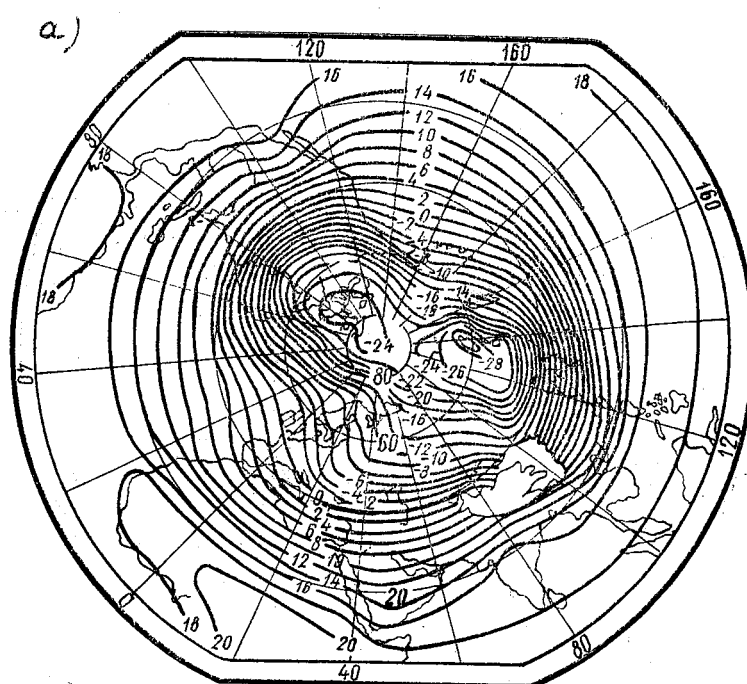


Рис. 13. Изотермы на поверхностях 850 гПа (а), 500 гПа (б). Январь

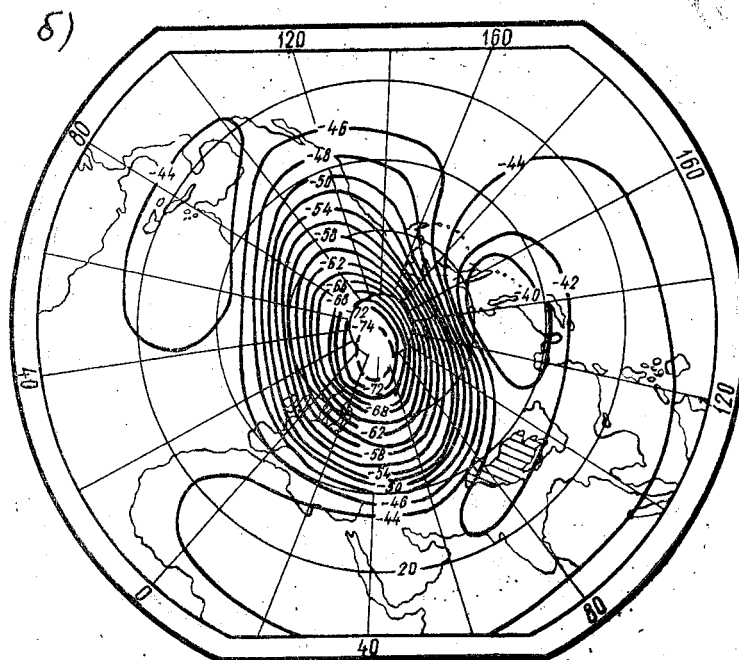
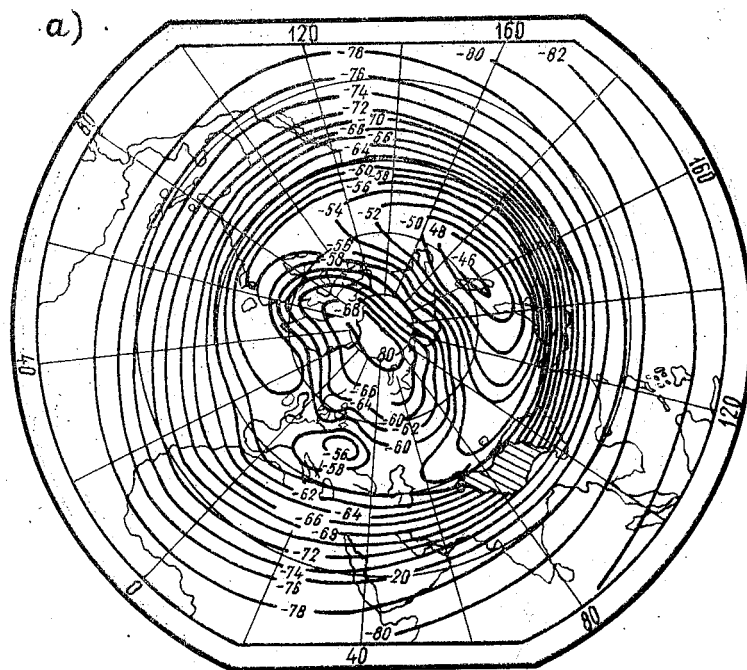
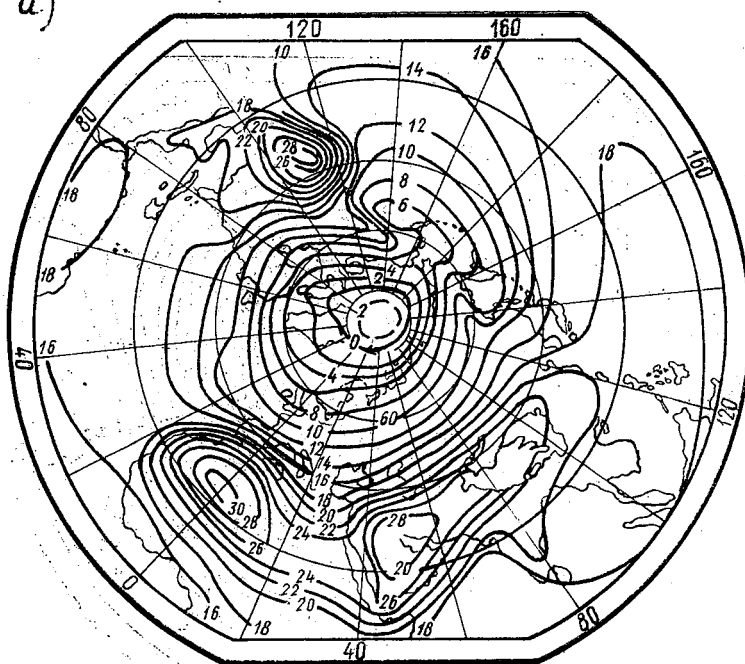


Рис. 14. Изотермы на поверхности 100 гПа (а), 10 гПа (б). Январь

a)



б)

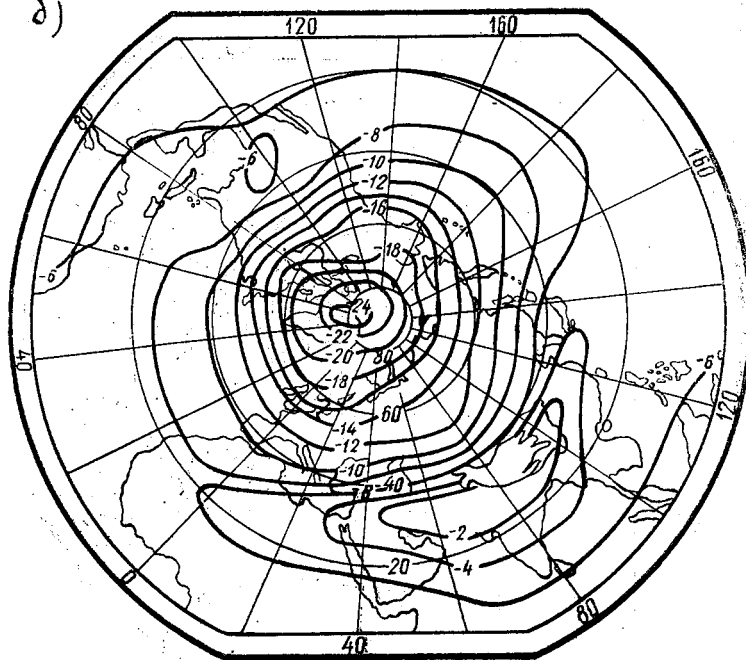


Рис. 15. Изотермы на поверхности 850 гПа (а), 500 гПа (б): Июль

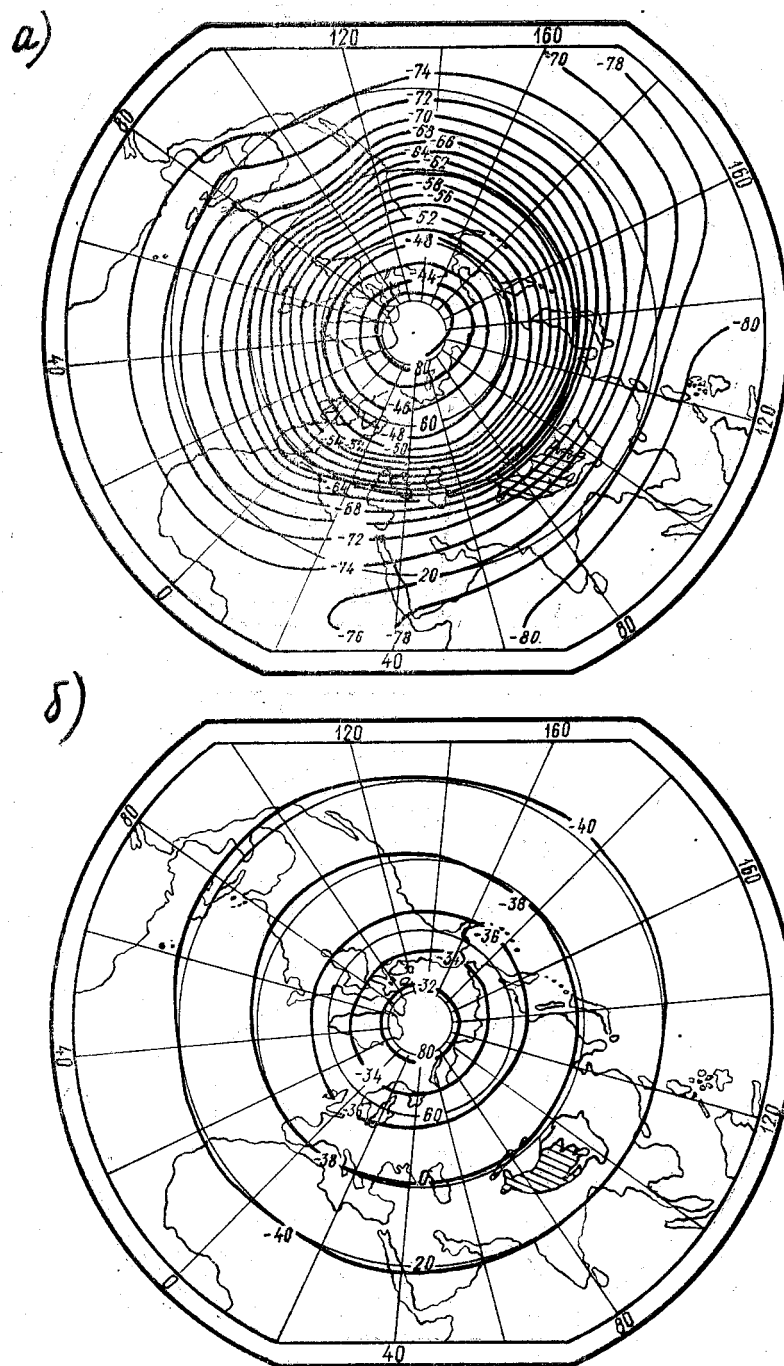


Рис. 16. Изотермы на поверхности 100 гПа (а), 10 гПа (б). Июль

Рекомендации к выполнению задания 6

1. В качестве средней величины планетарной температуры на уровне моря возьмите значение $T=15^{\circ}\text{C}$ и решите уравнение (2.1.1) при условиях (2.1.2—2.1.4). Значения годовой суммы инсоляции приведены в табл. 1.2.3, тема 1.

2. Постройте график изменения величины $T(x)$ в зависимости от широты и проанализируйте его. С помощью интерполяции определите широту границы льдов.

3. Сравните полученное распределение температуры воздуха на уровне моря с реально наблюдающимся распределением средних зональных температур.

4. Составьте программу расчетов $T(x)$ на языке ФОРТРАН.

Задание 7. Выяснить, как изменится распределение температуры с широтой при уменьшении солнечной постоянной на 1,6% и 3%.

Рекомендации к выполнению задания 7

1. Рассчитать значения Q_* при условии, что J_0^* уменьшились на 1,6% и 3%.

2. Рассчитайте величину $T(x)$ при новых значениях Q_* . Если в процессе расчета на k -й широте при $r=r_j$ $T(x)$ оказалось меньше -10°C , то начиная с этой широты следует полагать $r=r_i$ (при условии, что расчеты ведутся от низких широт к высоким). Представьте результат в виде графика.

3. Сравните результаты, полученные в предыдущем задании с данными результатами. Что можно сказать о чувствительности модели к малым изменениям Q .

4. Оцените, как изменится распределение температуры с широтой, если при $Q=1/4J_0^*$ альbedo на всех широтах возрастет на 10%.

Задание 8. Получить критерий, позволяющий судить об устойчивости решения на основании данных о положении границы льдов, считая, что изменение $r(x)$ описывается формулой (2.1.4), а

$$S(x) = \cos \varphi = \sqrt{1 - x^2}. \quad (2.1.7)$$

Рекомендации к выполнению задания 8

1. Подставить выражение (2.1.7) в условие (2.1.6), взяв в последнем вместо знака неравенства знак равенства.

2. Рассчитать величину интеграла в правой части в пределах от φ_k до 1, где φ_k — некоторое критическое значение широты границы льдов.

3. Воспользовавшись полученным выражением с учетом (2.1.6) сформулировать критерий устойчивости решения, основанный на данных о положении границы льдов.

4. Определите устойчивость решений, полученных в заданиях 4 и 5, считая, что r изменяется по линейному закону $r = r_0 - \frac{dr}{dT} T$, причем $r(0) = 0,2$, $r(1) = 0,9$.

Вопросы для самопроверки

1. От чего зависит пространственно-временное распределение температуры воздуха?
2. Что такое радиационная температура?
3. Почему различаются между собой теоретические и фактические температуры воздуха?
4. Что такое средняя зональная температура и что она отражает? Каковы характерные особенности ее пространственно-временного распределения в тропосфере и стратосфере?
5. В каких районах земного шара и почему формируются очаги тепла и холода в январе и июле у поверхности земли, в тропосфере и стратосфере?
6. Какие крайние значения температуры воздуха наблюдались на земном шаре, в СССР?
7. Какие типы годового хода температуры воздуха встречаются на Земле?
8. Как изменяется амплитуда годового хода температуры с широтой и высотой?
9. В каких районах отмечаются зоны повышенных зональных и меридиональных горизонтальных градиентов температуры воздуха в тропосфере и стратосфере?
10. Каковы особенности вертикального распределения температуры в тропосфере и стратосфере в различных широтных зонах?
11. Какова изменчивость температуры в тропосфере и стратосфере?
12. Что такое стратосферные потепления и чем они обусловлены?
13. Как меняется высота нижней границы тропопаузы в зависимости от широты и сезона? В какой широтной зоне тропопауза претерпевает разрыв?

Таблица 2.1.1

Средние широтные значения
теоретической и действительной температуры воздуха, °C

Температура	Широта, °									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Теоретическая	34	33	30	24	15	4	-10	-23	-31	-34
Действительная	26	27	25	21	14	5	-1	-10	-17	-23
Разность	8	6	5	3	1	-1	-9	-13	-14	-11

Таблица 2.1.2

Средняя зональная температура воздуха в июле

Широта, °	Высота, км													
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
90 с. ш.	-2,0	-4,5	-14,0	-24,5	-36,0	-44,0	-43,0	-42,0	-41,0	-39,5	-39,0	-39,0	-39,0	-39,0
	1,0	-3,0	-13,0	-24,0	-39,0	-45,0	-44,0	-43,0	-42,0	-41,5	-40,5	-40,0	-40,0	-40,0
	8,0	0,0	-11,0	-22,0	-36,0	-46,0	-48,0	-46,0	-46,0	-45,0	-44,0	-43,5	-43,0	-42,0
	13,5	4,0	-6,0	-19,0	-32,0	-44,0	-49,0	-49,5	-49,0	-48,5	-48,0	-47,0	-46,0	-45,5
	17,0	9,0	-2,0	-14,0	-28,0	-39,0	-48,0	-51,0	-53,0	-52,0	-51,0	-50,0	-48,5	-47,0
	23,0	14,0	2,0	-10,0	-23,0	-36,0	-48,0	-54,0	-60,0	-59,0	-55,0	-51,5	-50,0	-49,0
	27,0	15,0	4,0	-8,0	-20,5	-34,0	-48,0	-58,0	-66,0	-65,0	-58,0	-54,0	-51,0	-50,0
	28,0	16,0	5,0	-7,0	-20,0	-33,0	-50,0	-62,0	-72,0	-69,0	-62,0	-56,0	-52,0	-50,0
	27,5	16,0	6,0	-6,5	-19,0	-34,0	-52,0	-64,0	-78,0	-72,0	-64,0	-58,0	-54,0	-50,5
	25,5	11,5	-5,0	-6,0	-19,0	-35,0	-52,0	-68,0	-81,0	-72,0	-65,0	-59,0	-55,0	-51,0
10 ю. ш.	25,0	15,0	4,0	-8,0	-20,0	-36,0	-52,0	-68,0	-76,0	-70,0	-62,0	-58,0	-54,0	-51,0
	21,0	12,0	1,0	-4,0	-24,0	-38,0	-52,0	-64,5	-72,0	-66,0	-60,0	-56,5	-53,0	-50,0
	16,0	6,0	-8,0	-20,0	-32,0	-44,0	-51,0	-60,0	-62,0	-59,0	-58,0	-55,0	-52,5	-52,0
	11,5	0,0	-14,0	-28,0	-44,0	-52,0	-54,0	-55,0	-57,0	-58,0	-57,0	-55,5	-56,5	-56,0
	4,5	-4,0	-20,0	-32,0	-49,0	-58,0	-58,0	-59,0	-60,0	-61,0	-62,0	-62,0	-64,0	-65,0
	-5,5	-12,0	-28,0	-38,0	-54,0	-64,0	-66,0	-67,0	-68,0	-69,0	-71,0	-72,0	-72,0	-72,0
		-20,0	-35,0	-48,0	-60,0	-68,0	-71,0	-74,0	-76,0	-78,0	-79,0	-80,0	-80,0	-80,0
			-44,0	-51,0	-63,0	-72,0	-75,0	-78,0	-82,0	-84,0	-85,0	-85,0	-85,0	-85,0
			-46,0	-52,0	-64,0	-73,0	-76,0	-80,0	-84,0	-85,0	-85,5	-86,0	-86,0	-86,0
	90 ю. ш.													

Таблица 2.18

Средняя зональная температура в январе

Широта, °	Высота, км													26
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
90 с. ш.	-33,0	-26,0	-36,0	-48,0	-58,0	-62,0	-64,0	-66,0	-68,5	-69,0	-70,0	-72,0	-72,3	-72,5
80	-29,0	-24,0	-35,0	-46,0	-57,0	-61,0	-62,0	-64,0	-66,0	-68,0	-69,0	-69,5	-70,0	-70,5
70	-24,0	-20,0	-32,0	-44,0	-54,0	-57,0	-59,0	-61,0	-62,0	-62,0	-63,0	-64,0	-64,0	-64,0
60	-14,5	-16,0	-28,0	-40,0	-52,0	-55,0	-56,0	-57,0	-58,0	-58,0	-59,0	-59,0	-59,0	-59,0
50	-6,5	-12,0	-21,0	-34,0	-48,0	-53,0	-54,0	-54,0	-54,0	-54,0	-54,0	-54,0	-53,0	-51,0
40	5,5	-4,0	-10,0	-26,0	-40,0	-52,0	-55,0	-59,0	-60,0	-60,0	-58,0	-56,0	-52,0	-50,0
30	15,0	4,0	-4,0	-16,0	-29,0	-42,0	-55,0	-67,0	-70,0	-67,0	-63,0	-59,0	-54,0	-50,0
20	22,5	14,0	2,0	-10,0	-24,0	-38,0	-54,0	-68,0	-76,0	-72,0	-69,0	-62,0	-56,0	-51,0
10	26,0	15,0	5,0	-7,0	-17,0	-35,0	-52,0	-68,0	-82,0	-76,0	-70,0	-64,0	-57,0	-54,0
0	27,0	16,0	6,0	-6,0	-16,0	-34,0	-50,0	-66,0	-81,0	-77,0	-71,0	-65,0	-57,0	-54,0
10	26,5	16,0	6,0	-6,0	-20,0	-34,0	-50,0	-65,0	-80,0	-76,0	-70,0	-64,0	-56,5	-51,5
20	26,0	18,0	4,0	-8,0	-21,0	-36,0	-52,0	-65,0	-76,0	-74,0	-67,0	-62,0	-55,0	-51,0
30	22,0	11,0	0,0	-10,0	-24,0	-40,0	-53,0	-62,0	-68,0	-66,0	-62,0	-58,0	-53,0	-50,0
40	16,0	7,0	-4,0	-16,0	-28,0	-42,0	-53,0	-58,0	-62,0	-61,0	-58,0	-54,0	-50,0	-48,0
50	8,0	0,0	-12,0	-22,0	-34,0	-46,0	-50,0	-51,0	-52,0	-51,5	-50,0	-48,0	-46,0	-43,0
60	2,0	-7,0	-17,0	-28,0	-40,0	-46,0	-47,0	-46,0	-46,0	-46,0	-44,0	-43,0	-41,0	-39,0
70		-12,0	-22,0	-33,0	-44,0	-48,0	-43,0	-42,5	-42,0	-41,0	-40,0	-39,0	-38,0	-36,0
80			-24,0	-36,0	-50,0	-49,0	-43,0	-41,5	-40,0	-39,0	-38,0	-37,0	-36,0	-35,0
90 ю. ш.			-30,0	-40,0	-52,0	-50,0	-43,0	-41,5	-39,0	-38,0	-37,5	-35,0	-35,0	-35,0

Таблица 2.1.4

Высота тропопаузы, км

Полушарие	Месяц	Широта, °									
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Северное	I	16,2	16,1	16,0	15,0	14,5	9,2	8,5	7,9	7,3	6,8
	VII	16,5	16,4	16,3	16,2	16,0	11,8	10,5	10,0	9,8	9,5
Южное	I	16,5	16,4	16,3	16,3	12,0	11,0	10,0	9,5	9,0	8,5
	VII	16,2	16,1	16,0	16,0	11,0	10,5	10,0	9,8	9,7	9,5

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

РЕЖИМ ВЛАЖНОСТИ, ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ

Цель работы — изучить особенности пространственно-временного распределения полей влажности, облачности, осадков. Выявить причины, формирующие зональность в их распределении. Понять роль каждого члена водного баланса во влагообороте.

Литература

1. Гаврилова Л. А. Аэроклиматология. Раздел III. Л., изд. ЛГМИ, 1982.
2. Витвицкий Г. Н. Зональность климатов Земли. Гл. 1, 3. — М.: Мысль, 1980.
3. Кобышева Н. В., Костин С. И., Струнников Э. А. Климатология. Гл. 2. Л.: Гидрометеоздат, 1980.
4. Шапаев В. М. Климатология. Тема 4. Л., изд. ЛГМИ, 1974.

В атмосферном воздухе всегда содержится водяной пар. В атмосферу он поступает с подстилающей поверхности в процессе испарения. Под влиянием различных процессов водяной пар в атмосфере конденсируется и образуются облака, а затем и осадки, выпадающие на землю. Воздушными течениями водяной пар перемещается из одного района в другой.

В атмосфере водяной пар выполняет в основном два действия, с которыми тесно связано формирование других климатических полей. Одно из основных действий воды в атмосфере состоит в ее влиянии на радиационные процессы.

В сконденсированном состоянии влага действует как экран, перераспределяющий радиационные потоки в атмосфере, тем самым изменяя ее тепловой режим. Водяной пар обладает наиболее интенсивными и широкими полосами поглощения в инфракрасном диапазоне солнечной и земной радиации, тем самым способствуя созданию парникового эффекта.

Второе воздействие воды в атмосфере состоит в ее влиянии на термодинамические процессы, причем по своему значению оно не намного уступает воздействию солнечной радиации. В процессе конденсации влаги атмосфера получает почти столько же тепла, сколько за счет поглощения коротковолновой солнечной и длинноволновой земной радиации вместе.

При оценке количества водяного пара в атмосфере употребляются различные характеристики влажности воздуха. Влажность воздуха в приземных слоях характеризуется с помощью абсолютной, относительной влажности, парциальным давлением водяного пара.

Пространственно-временное распределение парциального давления и абсолютной влажности соответствуют в основном распределению температуры воздуха. Более высоким температурам соответствуют их большие значения. Распределение же относительной влажности зависит не только от температуры, но и от влагосодержания.

Для характеристики влажности в атмосфере широко используется массовая доля водяного пара, так как она не меняется при адиабатическом расширении или сжатии воздуха (в отличие от абсолютной влажности).

Распределение массовой доли водяного пара в тропосфере имеет сложный характер. Оно определяется не только испарением, интенсивностью горизонтальных потоков влаги и турбулентного теплообмена деятельной поверхности, но в значительной мере температурой воздуха.

Влагосодержание как характеристика влажности воздуха представляет собой запас атмосферной влаги, которая может быть осаждена в виде осадков и может быть определена по формуле

$$w = \frac{x}{g} \int_{p_0}^{p_h} q_i dp, \quad (2.2.1)$$

где g — ускорение свободного падения; p_0 и p_h — давление на уровне станции и верхней границе рассматриваемого слоя атмосферы; q_i — массовая доля водяного пара.

Горизонтальный перенос влаги в атмосфере имеет большое значение в формировании режима влагосодержания атмосферы, облачности, осадков и водного баланса суши.

Интенсивностью горизонтального переноса влаги называется количество водяного пара, переносимого через единичное сечение за единицу времени и суммарно в слое 0—7 или 0—9 км, где сосредоточен весь запас влаги. Она зависит от влагосодержания атмосферы и средней скорости переноса воздушных масс в рассматриваемом слое.

Общий, или результирующий поток влаги представляет собой сумму горизонтальных потоков влаги различных направлений. Для

более полной оценки движения влаги в атмосфере используют интенсивности ее переноса вдоль широтных кругов и меридианов. Их можно оценить по формулам

$$\begin{aligned} F_{x_i} &= a_i v_{r_i} \sin \varphi, \\ F_{y_i} &= a_i v_{r_i} \cos \varphi, \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

где a — влажность воздуха; F_{x_i}, y_i — индивидуальный зональный и меридиональный потоки влаги. Потоки положительны, когда они направлены с запада и юга, и отрицательны при противоположных направлениях результирующего ветра v_{r_i} . Произведения $v_{r_i} \cdot \sin \varphi$, $v_{r_i} \cdot \cos \varphi$ представляют собой зональную и меридиональную составляющие вектора ветра.

Общий перенос влаги может быть определен из соотношения

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}. \quad (2.2.3)$$

Пространственно-временное распределение интенсивности горизонтальных переносов согласуется с процессами общей циркуляции атмосферы, определяющими характерные особенности полей переноса влаги в атмосфере. Облачность проявляет себя как весьма активный регулятор притока солнечной радиации к земной поверхности и передачи тепла от нее в атмосферу. Облака обладают относительно высокой отражательной способностью, и поэтому они дают наибольший вклад в альбедо системы Земля — атмосфера (более 70%). Таким образом, облачность довольно активно участвует в формировании поля температуры, а следовательно, и полей других метеорологических величин.

Количество осадков является важнейшим показателем климата. Они являются одним из главных поставщиков запасов влаги для почвы, от которых зависит произрастание и урожайность сельскохозяйственных культур, трав, лесов и т. д.

Количество осадков позволяет приблизительно оценить количество энергии, которое получает атмосфера за счет конденсации водяного пара. Осадки являются приходной частью водного баланса суши, уравнение которого можно записать в виде

$$r = E + f, \quad (2.2.4)$$

где r — количество осадков; E — испарение; f — сток.

Влагооборот воды в природе имеет важное значение. Теория обмена местной и адвективной влаги ограниченной территории строится в предположении, что в атмосфере адвективный и местный водяной пар перемешиваются между собой.

Основными характеристиками влагооборота являются коэффициенты влагооборота, интенсивность влагооборота, коэффициент влагоиспользования, количества осадков адвективного и местного происхождения. Коэффициент влагооборота позволяет судить

о том, какую долю от общего количества осадков составляют осадки местного происхождения. Интенсивность влагооборота показывает какая часть водяного пара участвует во влагообороте. Она отражает связь между выпавшими осадками и состоянием влаги в атмосфере. Коэффициент влагоиспользования показывает какая часть от общего влагосодержания выпала в виде осадков.

Задание 1. Используя данные о средних широтных значениях массового содержания водяного пара и влагосодержания (табл. 2.2.1, 2.2.2), проанализируйте закономерности их пространственно-временного распределения и ответьте на вопросы.

1. Почему наибольшие значения отмечаются в низких широтах и с увеличением широты уменьшаются?

2. Как и почему изменяется влажность с высотой?

3. Как меняются значения массового содержания водяного пара и влагосодержания в годовом ходе?

4. В каком полушарии ярче выражен годовой ход влажности?

Задание 2. Проанализируйте климатические карты распределения парциального давления, массового содержания водяного пара, влагосодержания атмосферы, относительной влажности воздуха в январе и июле (рис. 17—22) и ответьте на вопросы.

1. В каком диапазоне происходит изменение числовых значений рассматриваемых характеристик влажности по территории земного шара?

2. В каких районах Земли происходит нарушение зональности распределения и с чем это связано?

3. Перечислите районы с очагами максимальных и минимальных значений и объясните их формирование.

4. Как меняются числовые значения характеристик влажности в годовом ходе и чем это обусловлено? В каких районах Земли отмечается наибольшее изменение влагосодержания в зависимости от сезона?

Задание 3. Проанализируйте карты зональной и меридиональной составляющих потока водяного пара в атмосфере в январе и июле (рис. 23—26) и ответьте на вопросы.

1. С чем связан перенос влаги в атмосфере?

2. В каких районах наблюдается западный и восточный перенос влаги?

3. Перечислите основные очаги максимального западного и восточного переноса и какие числовые значения в них наблюдаются?

4. Какие очаги являются стационарными, а какие сезонными? В каких районах Земли отмечается смена потоков?

5. С чем связано малое значение западного переноса на восточных берегах Азии в умеренных широтах?

6. В каких районах Земли наблюдается южная и северная составляющая переноса влаги? Где направление переноса сохраняется круглый год, а где меняется в зависимости от сезона?

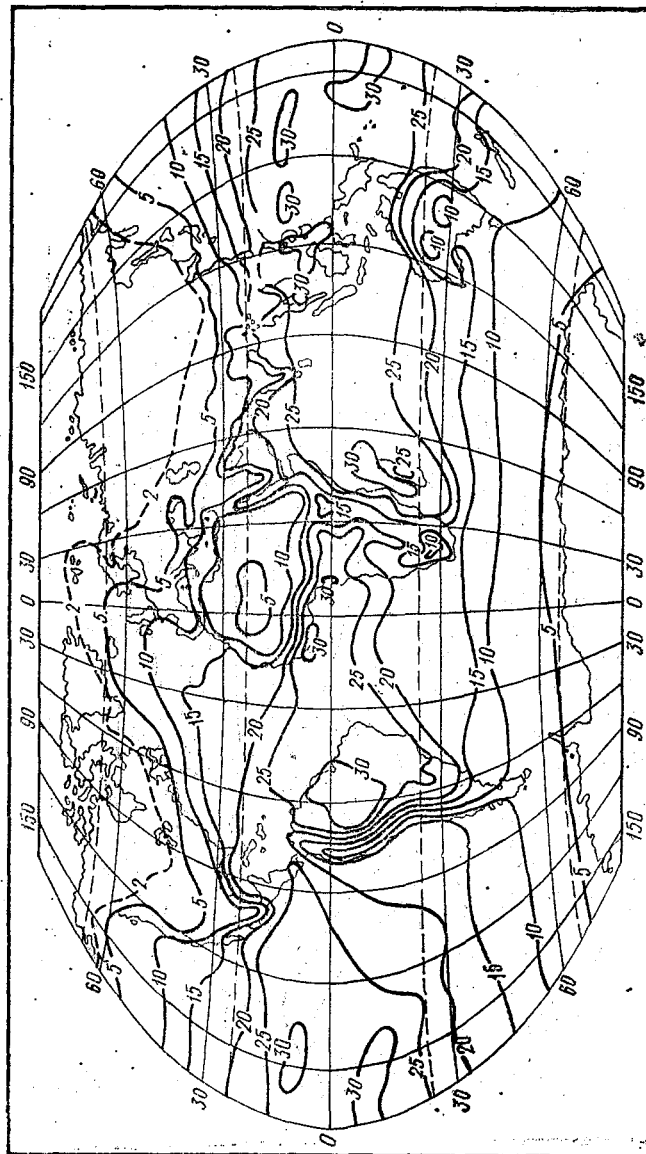


Рис. 17. Парциальное давление водяного пара, гПа. Январь

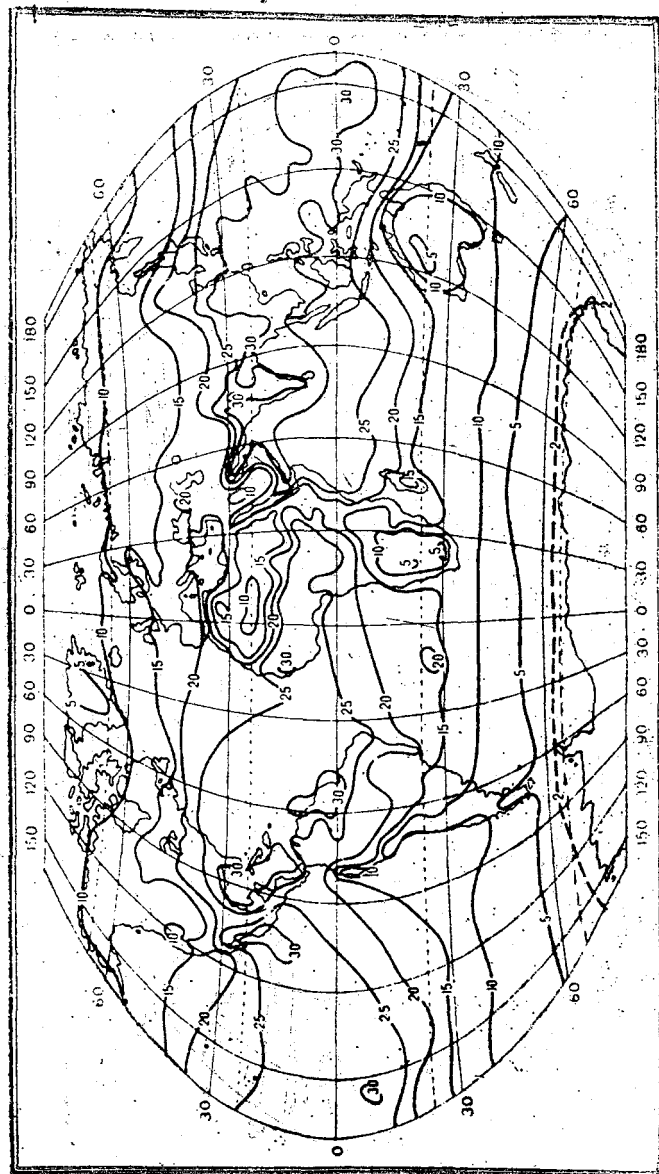


Рис. 18. Парциальное давление водяного пара, гПа. Июль

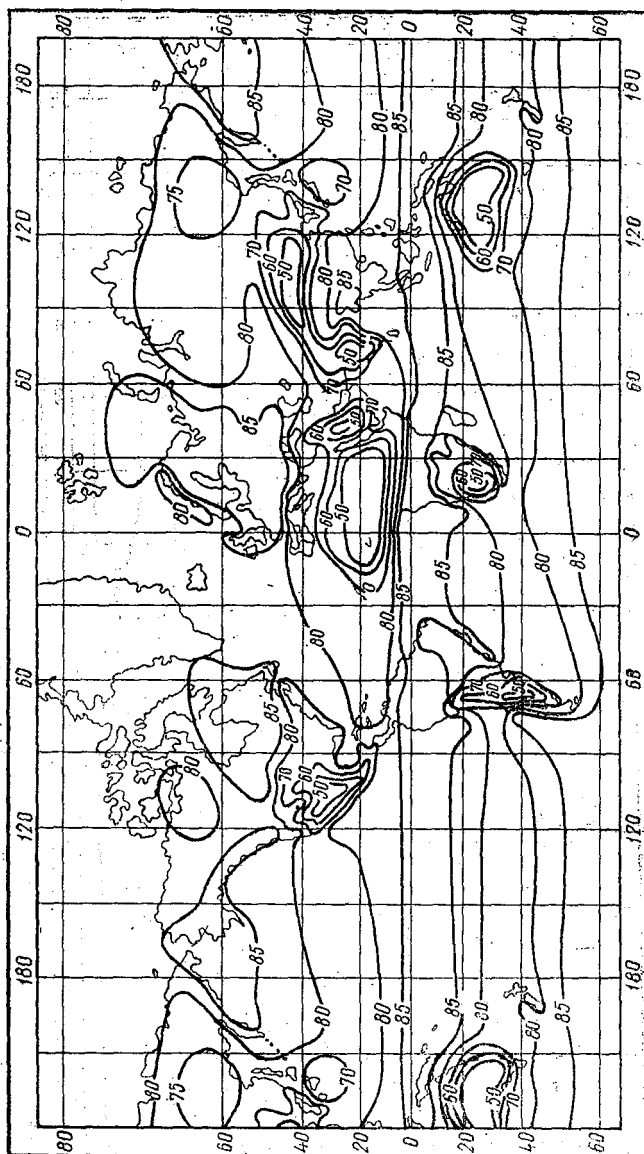


Рис. 19. Относительная влажность воздуха. Январь

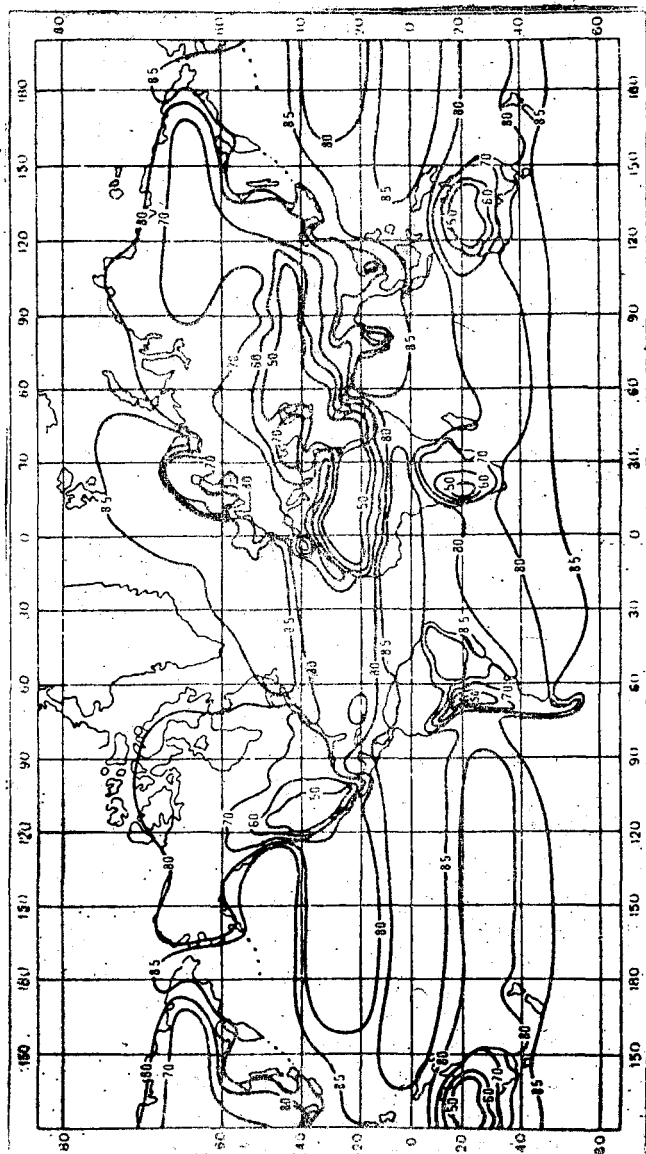


Рис. 20. Относительная влажность воздуха. Июль

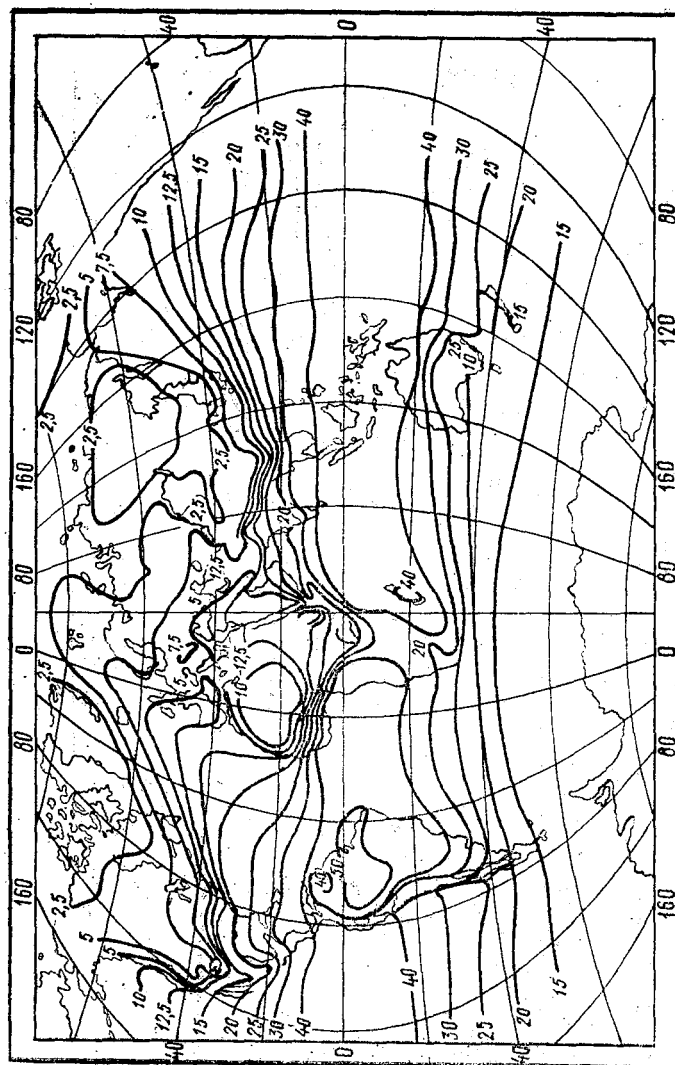


Рис. 21. Влагосодержание атмосферы в слое 0—9 км, мм. Январь

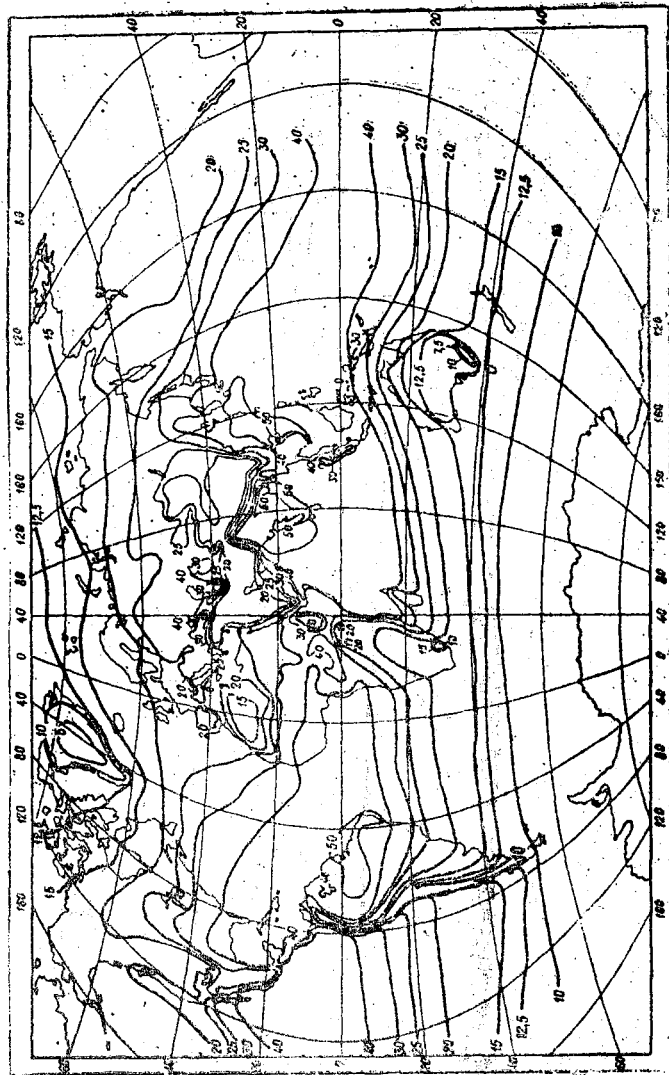


Рис. 22. Влагосодержание атмосферы в слое 0—9 км, мм. Июль

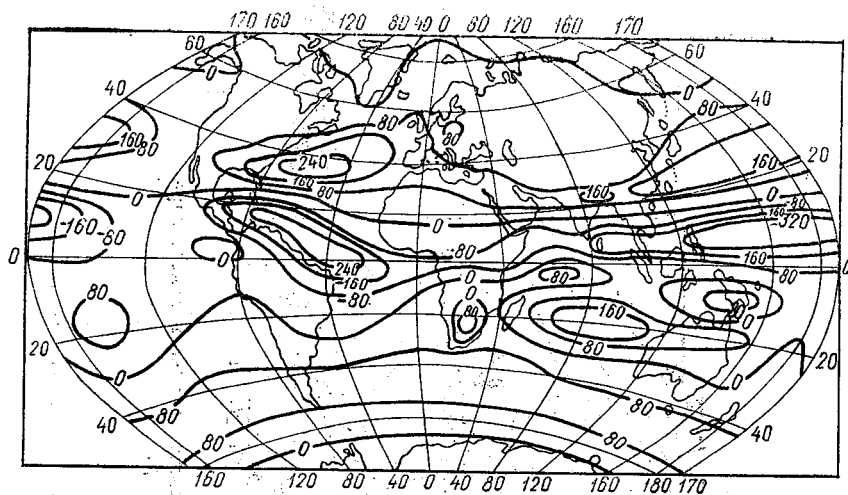


Рис. 23. Зональная составляющая результирующего потока водяного пара в атмосфере ($\text{кг/м} \cdot \text{с}$). Январь

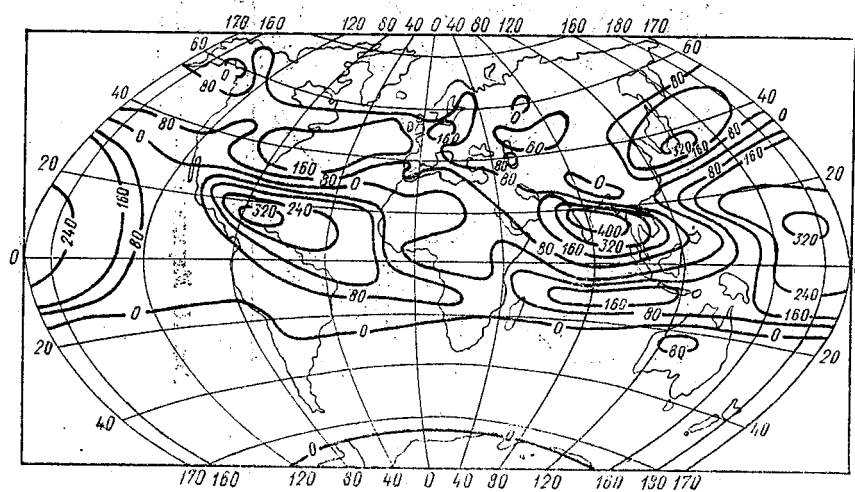


Рис. 24. Зональная составляющая результирующего потока водяного пара в атмосфере ($\text{кг/м} \cdot \text{с}$). Июль

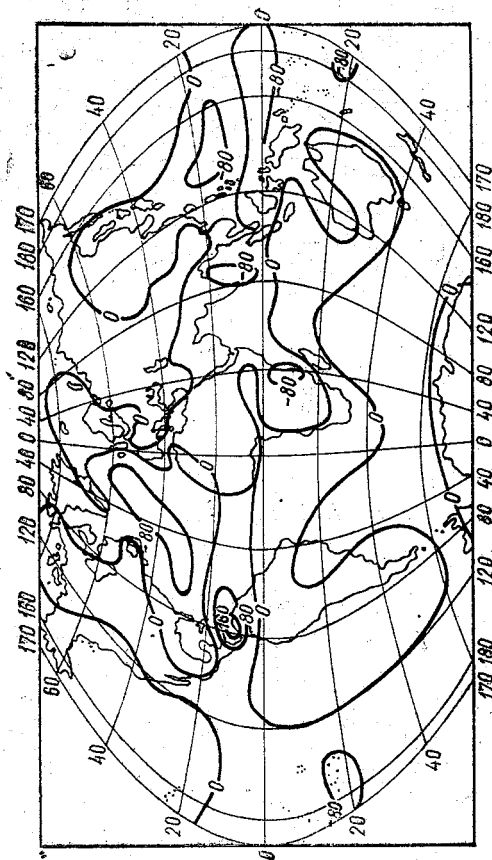


Рис. 25. Меридиональная составляющая результирующего потока водяного пара в атмосфере ($\text{кг/м} \cdot \text{с}$). Январь

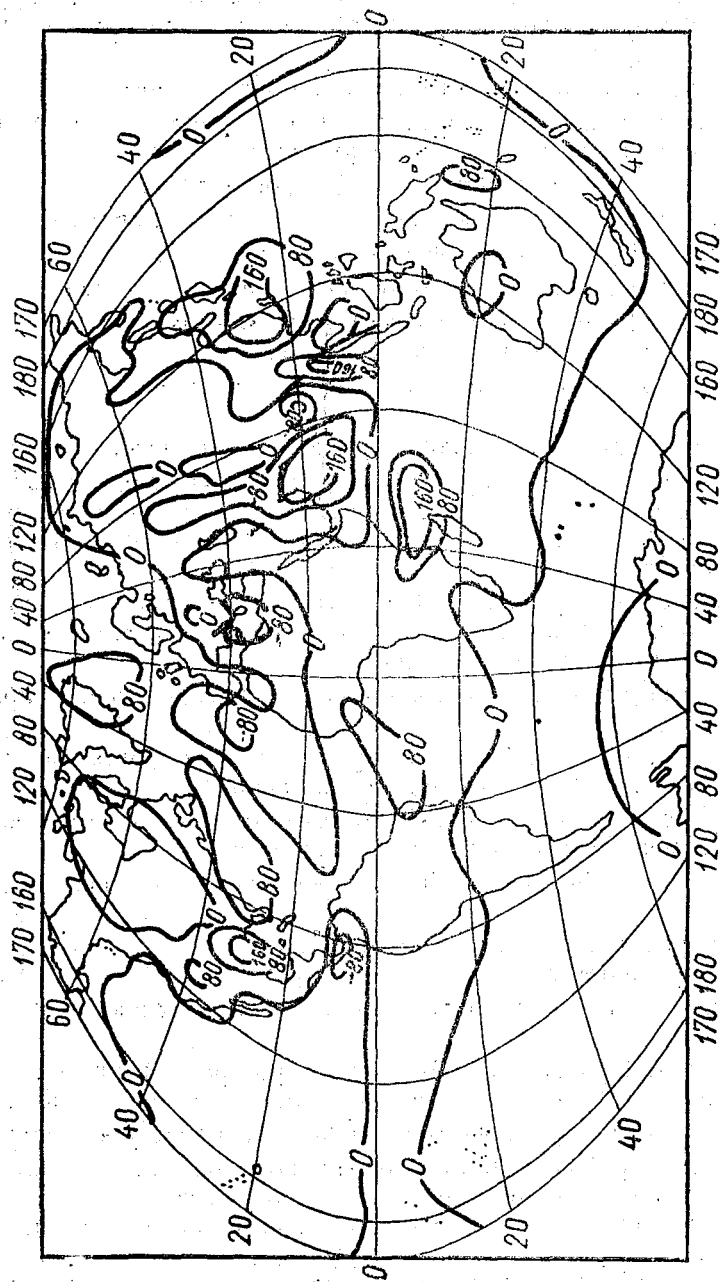


Рис. 26. Меридиональная составляющая результирующего потока водяного пара в атмосфере (кг/м·с). Июль

Задание 4. Используя данные о средних широтных значениях балла облачности и осадков (табл. 2.2.3, 2.2.4), проанализируйте закономерности их пространственно-временного распределения и ответьте на вопросы.

1. Какова роль облачности в климатообразовании?
2. В каких районах отмечаются наибольшие и наименьшие значения облачности и чем это обусловлено?
3. Как меняется балл облачности в годовом ходе?
4. Какие различия наблюдаются между полушариями?
5. Какова роль осадков в формировании климатов?
6. От чего зависит количество выпадающих осадков?
7. В каких районах Земли отмечаются максимальные и минимальные суммы осадков и чем это обусловлено?
8. Как изменяются количества осадков в зависимости от сезона?
9. Какие различия отмечаются между полушариями?

Задание 5. Сравните средние широтные значения испарения и осадков (табл. 2.2.5) и определите, какие районы являются источниками и стоками влаги. Как это сказывается на термическом режиме атмосферы.

Задание 6. Проанализируйте карты пространственного распределения среднего балла общей облачности в январе и июле (рис. 27—28) и ответьте на вопросы.

1. От чего зависит пространственное распределение облачности?
2. В каких районах Земли формируются очаги максимальных и минимальных значений и чем они обусловлены?
3. Как меняется облачность в годовом ходе и в каких районах сезонная изменчивость выражена больше всего?
4. Есть ли различие в количестве облаков над сушей и океаном?
5. В каких районах Земли отмечаются самые экстремальные значения облачности?
6. Какие типы годового хода облачности отмечаются на земном шаре?

Задание 7. Проанализируйте карту пространственного распределения годовых сумм осадков (рис. 29) и ответьте на вопросы.

1. От чего зависит пространственное распределение осадков?
2. В каких районах Земли формируются очаги максимальных и минимальных значений и чем они обусловлены?
3. Какие типы годового хода осадков наблюдаются на земном шаре?
4. Какие районы Земли и СССР имеют экстремальные суммы осадков?

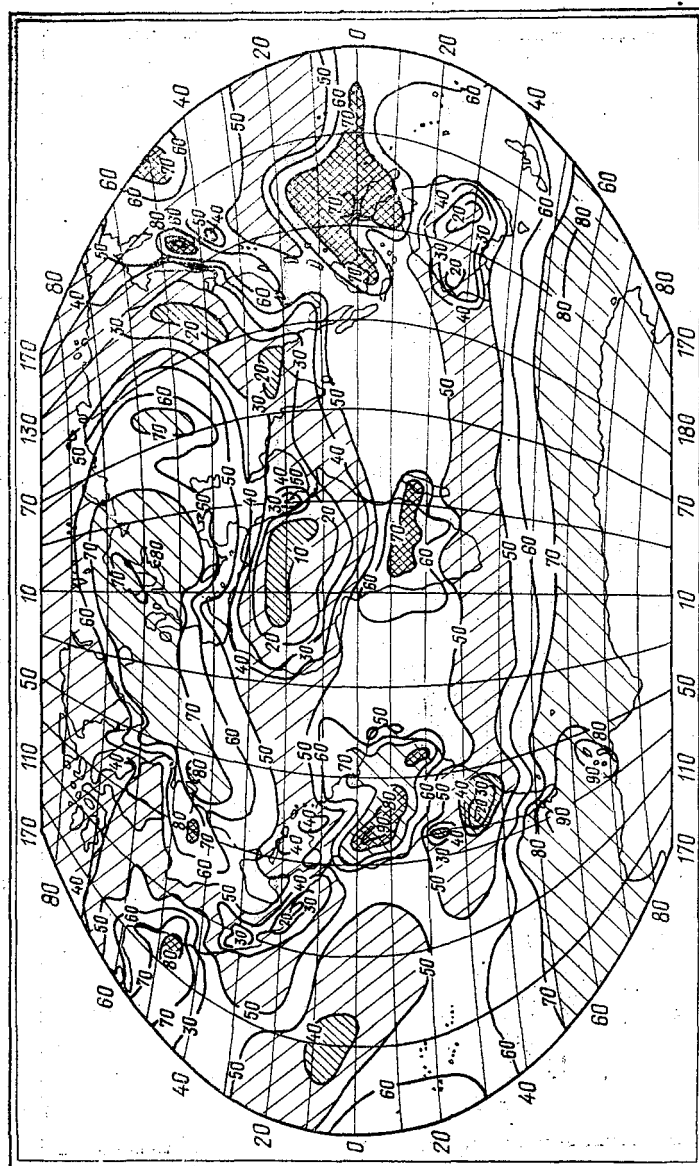


Рис. 27. Повторяемость общей облачности (%). Январь

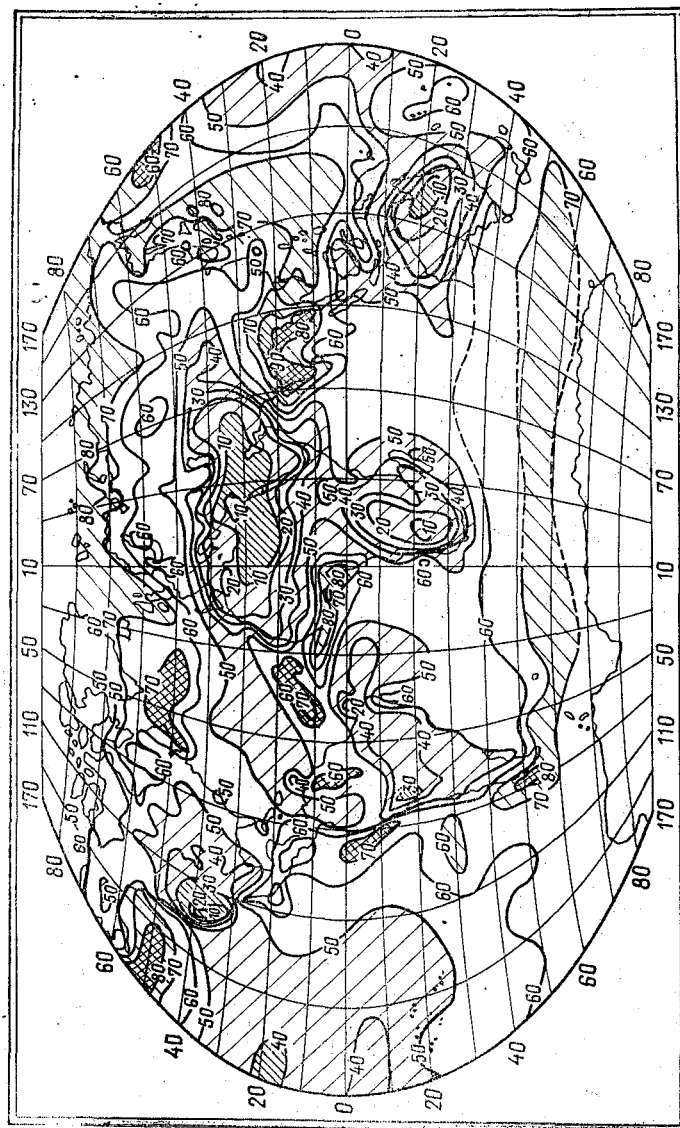


Рис. 28. Повторяемость общей облачности (%). Июль

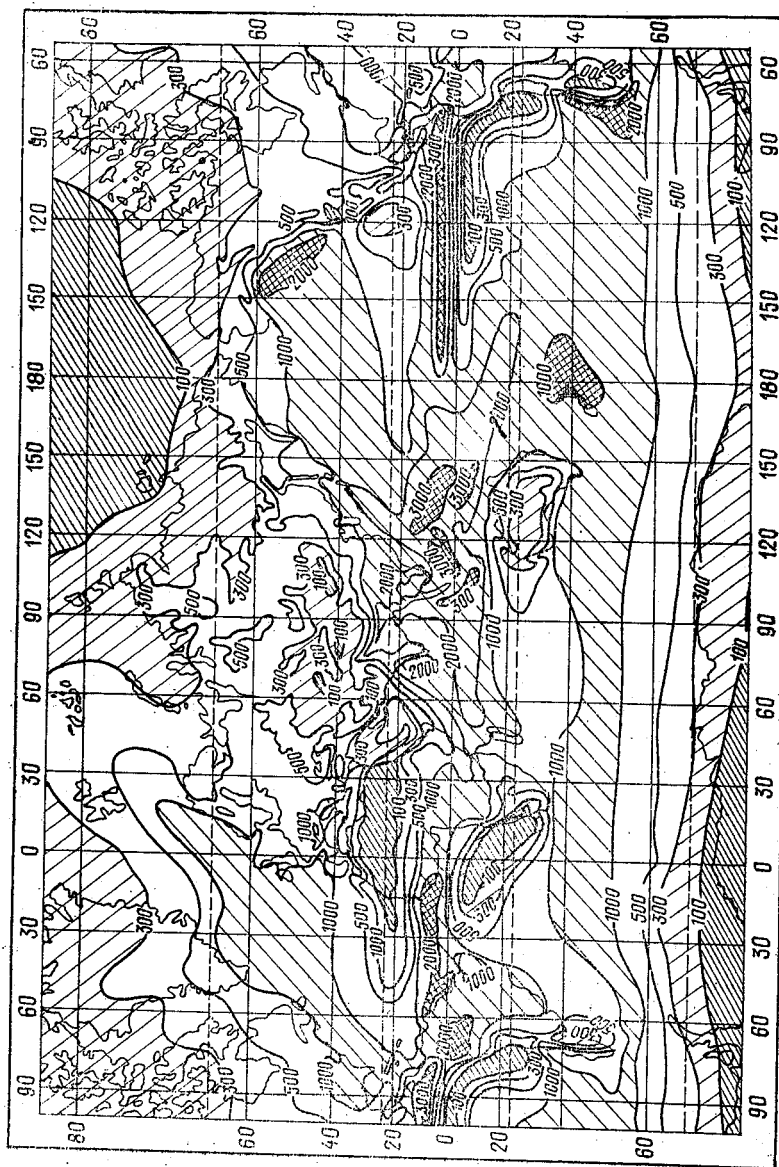


Рис. 29. Годовые суммы осадков, мм

Задание 8. На основании среднемесячных данных удельной влажности и скорости ветра на стандартных высотах, данных об испарении и осадков у поверхности земли (табл. 2.2.6, 2.2.7) рассчитайте значения коэффициентов влагооборота, интенсивности влагооборота, коэффициента влагооборота, количества осадков местного и адвективного происхождения для указанной территории.

Рекомендации к выполнению задания 8

1. На основании данных на стандартных высотах построить для каждой станции графики распределения с высотой массовой доли водяного пара и скорости ветра. По оси ординат откладывать давление в масштабе 1 см — 50 гПа.

2. Через каждые 50 гПа снять с графиков значения массовой доли водяного пара и скорости ветра и рассчитать значения влагосодержания w (кг/м³) и потока влаги F (кг/м·с) по формулам:

$$w = 0,5 \left(\frac{q_0}{2} + q_1 + q_2 + \dots + \frac{q_h}{2} \right), \quad (2.2.5)$$

$$F = 0,5 \left(\frac{q_0 v_0}{2} + q_1 v_1 + q_2 v_2 + \dots + \frac{q_h v_h}{2} \right), \quad (2.2.6)$$

где $q_0, q_1, \dots, q_h$ — значения массовой доли водяного пара; $v_0, v_1, \dots, v_h$ — значения скорости ветра.

3. Получить средние значения влагосодержания и потока влаги на наветренной части территории, для чего осреднить данные всех станций. Поток надо выразить за месяц.

4. Определить среднее значение испарения $\bar{E}$ с единицы территории. Для этого можно использовать карты испарения (или таблицы). В точках, равномерно расположенных по территории, снять значения испарения и далее все значения осреднить.

5. Определите среднее значение осадков $\bar{r}$, выпадающих на территории. Для этого можно использовать данные станций, расположенных равномерно по территории, или карты осадков. Данные станций осреднить.

6. Определить линейный размер контура по формуле

$$l = \sqrt{S}, \quad (2.2.7)$$

где S — площадь территории. Площадь находится с помощью географической карты.

7. Рассчитать коэффициент влагооборота k по формуле

$$k = 1 + \frac{\bar{E} l}{2\bar{F}}. \quad (2.2.8)$$

8. Рассчитать интенсивность влагооборота i по формуле

$$i = \frac{\bar{r}l}{r\bar{F} + \bar{E}l} \quad (2.2.9)$$

9. Рассчитать коэффициент влагоиспользования по формуле

$$j = \frac{\bar{r}}{nw}, \quad (2.2.10)$$

где n — число дней в месяце.

10. Рассчитать количество осадков адвективного r_a и местного происхождения r_m по формулам

$$r_a = \bar{r}/(1 + k), \quad (2.2.11)$$

$$r_m = \bar{r}/\left(1 + \frac{2\bar{F}}{\bar{E}l}\right). \quad (2.2.12)$$

Таблица 2.2.1

Средние широтные значения влагосодержания, мм

Широта, °	Слой, гПа				
	земля — 850	850—700	700—500	500—300	земля — 300
Январь					
70—80 с. ш.	1,1	0,9	0,6	0,3	2,9
60—70	1,2	1,2	0,8	0,3	3,5
40—50	2,8	2,5	1,8	0,6	7,7
10—20	15,8	8,7	4,8	1,6	30,9
10—20 ю. ш.	18,4	13,3	8,8	3,1	43,6
40—50	8,9	4,7	3,1	1,1	17,8
60—70	2,8	2,2	1,5	0,5	7,0
Июль					
70—80 с. ш.	5,1	4,2	2,9	0,9	13,1
60—70	7,1	5,6	3,8	1,2	17,7
40—50	10,0	7,7	5,3	1,6	24,6
10—20	21,7	13,7	9,1	3,3	47,8
10—20 ю. ш.	13,5	8,3	4,7	1,3	27,8
40—50	6,5	3,6	2,1	0,6	12,8
60—70	1,1	1,1	0,8	0,2	3,2

Таблица 2.2.2

Средние широтные значения массового содержания водяного пара
на высотах, ‰

Широта, °	Уровень, км			
	1		3	
	I	VII	I	VII
70 с. ш.	1,0	4,7	0,6	2,6
60	1,5	6,1	0,9	3,4
50	2,3	7,5	1,4	4,8
40	3,6	9,5	2,2	5,2
30	5,8	11,0	3,2	5,9
20	7,5	12,2	4,1	6,4
10	9,3	12,9	4,9	7,0

Таблица 2.2.3

Средние количества осадков широтных поясов, мм

Широта, °	Полушарие			
	северное		южное	
	I	VII	I	VII
90—80	7	5	4	7
80—70	22	20	14	22
70—60	29	53	90	21
60—50	60	75	112	90
50—40	74	66	90	123
40—30	71	68	58	100
30—20	42	92	79	56
20—10	54	138	130	61
10—0	129	184	147	92

Таблица 2.2.4

Средние широтные значения общей облачности, баллы

Широта, °	Полушарие			
	северное		южное	
	I	VII	I	VII
90—80	5,4	8,7	5,4	3,9
80—70	5,9	7,8	6,2	5,0
70—60	6,5	7,2	8,8	7,8
60—50	6,8	7,2	8,4	7,9
50—40	6,5	6,2	6,9	6,8
40—30	5,9	5,2	5,7	6,0
30—20	4,7	5,0	6,4	5,0
20—10	4,7	6,1	6,1	5,0
10— 0	5,7	6,2	6,2	5,3
В целом	5,4	6,1	6,5	5,9

Таблица 2.2.5

Средние широтные значения годовых сумм испарения и осадков, см

Широта, °	Испарение		Осадки	
	с. п.	ю. п.	с. п.	ю. п.
70—60	33		40	45
60—50	35	58	75	105
50—40	75	84	95	120
40—30	108	126	85	90
30—20	125	146	80	85
20—10	158	164	110	115
10— 0	155	150	185	135

Таблица 2.2.6

Распределение давления P (гПа), массовой доли водяного пара q (°/го)
и скорости ветра v (м/с) на высотах

Ленинград

Высота, км	Май			Июнь			Июль		
	P	v	q	P	v	q	P	v	q
земля	1014	4,3	4,8	1009	3,9	7,5	1009	3,5	8,6
0,5	956	8,4	4,5	953	7,9	6,9	953	7,5	7,9
1,0	899	8,8	3,9	897	8,5	6,0	897	7,7	6,7
1,5	845	8,9	3,3	844	8,8	5,1	845	8,1	5,7
2,0	794	9,2	2,8	794	9,1	4,4	795	8,4	4,8
3,0	702	10,1	2,0	701	10,4	3,2	702	9,3	3,5
4,0	615	11,5	1,3	618	11,7	2,2	619	10,1	2,4
5,0	539	13,5	0,9	542	13,8	1,4	544	11,1	1,6
6,0	470	15,6	0,6	475	16,3	0,9	476	12,5	1,0
7,0	409	17,9	0,4	414	18,7	0,6	416	13,8	0,6

Минск

земля	998	4,1	6,0	986	4,0	8,0	986	8,5	8,7
0,5	956	7,8	5,6	954	7,4	7,5	954	7,6	8,1
1,0	899	8,1	4,9	899	7,6	6,6	899	8,1	7,1
1,5	846	9,8	4,3	847	7,7	5,8	847	8,3	6,2
2,0	796	9,7	3,7	797	8,1	5,0	798	8,6	5,3
3,0	703	11,1	2,5	705	8,8	3,5	705	9,7	3,7
4,0	618	12,5	1,6	622	9,8	2,3	622	10,8	2,5
5,0	542	13,8	1,0	547	11,0	1,6	548	12,2	1,6
6,0	471	15,4	0,6	479	12,1	1,0	481	13,5	1,0
7,0	412	17,0	0,4	418	13,4	0,6	420	15,2	0,6

Киев

земля	994	4,3	6,1	993	3,9	8,5	993	3,5	8,9
0,5	956	8,4	5,8	955	7,9	8,0	955	7,5	8,6
1,0	901	8,8	5,1	900	8,5	7,1	901	7,7	7,5
1,5	848	8,9	4,3	848	8,8	6,1	849	8,1	6,4
2,0	797	9,2	3,7	798	9,1	5,3	799	8,4	5,6
3,0	704	10,1	2,7	706	10,4	3,9	707	9,3	4,2
4,0	620	11,5	1,8	622	11,7	2,8	625	10,1	3,0
5,0	544	13,5	1,1	548	13,8	1,9	550	11,1	2,0
6,0	476	15,6	0,7	481	16,3	1,2	483	12,5	1,2
7,0	416	17,9	0,4	421	18,7	0,7	423	13,8	0,8

Таблица 2.2.7

Средние месячные значения сумм осадков и испарения
для различных пунктов, мм

Пункт	Осадки			Испарение		
	V	VI	VII	V	VI	VII
1	47	63	56	75	67	70
2	49	67	65	70	68	72
3	56	72	86	68	69	74
4	54	72	89	76	71	74
5	44	68	72	73	74	70
6	36	52	59	72	75	65
7	52	72	90	75	71	73
8	41	66	76	74	72	72
9	29	39	38	76	74	70
10	56	80	76	71	71	70
11	50	63	63	72	70	65
12	28	31	21	70	75	54

Тема 3. КЛАССИФИКАЦИЯ КЛИМАТОВ

Целью классификации климатов является установление характерных черт климатов, присущих определенным районам земного шара, определение границ их распространения и тем самым выявление районов с разными, а также сходными климатическими режимами.

Задача климатического районирования состоит не только в выделении различных по своему характеру климатических провинций, но и в установлении между ними генетических связей и подчиненностей. Подчиненность более мелких климатических единиц более крупным заключается в том, что мелкие территории входят в состав крупных. Единицы первого порядка — это климатические пояса или зоны, выделение которых основано на широтных закономерностях тепло- влагообмена атмосферы с земной поверхностью и особенностями атмосферной циркуляции. Единицы второго порядка — климатические области, выделяемые внутри поясов исходя из региональных особенностей радиационного режима и циркуляции атмосферы. Единицы третьего порядка — горные климатические области, климат которых определяется влиянием горных систем (высота над уровнем моря, экспозиция, возмущения в воздушном потоке) на общий режим инсоляции и циркуляции атмосферы. Единицы четвертого порядка — климатические районы, входящие в состав климатических областей и обусловленные всей совокупностью местных физико-географических условий.

Классификация климатов имеет большое практическое значение, так как с климатом тесно связана жизнедеятельность животных и растительных организмов, характер почвенного покрова, а также хозяйственная деятельность человека.

В настоящее время существует довольно много классификаций климата, но наиболее известными являются классификации В. Кеппена, Л. С. Берга, М. И. Будыко и А. А. Григорьева, Б. П. Алисова.

В основу классификации Кеппена положены средние температуры самого теплого и самого холодного месяцев, средняя годовая температура и количество осадков (средние годовые и месячные). Классификация Берга учитывает географическое распределение ландшафтных зон (тундры, тайги, лиственных лесов и т. д.).

В основу классификации Будыко и Григорьева положен показатель индекса сухости, определяемый величиной отношения годового радиационного баланса подстилающей поверхности к количеству тепла, необходимого для испарения годовой суммы осадков. Для детализации климатического районирования используются дополнительные показатели — термические условия теплого периода и условия зимы (суровость, снежность).

На основе особенностей общей циркуляции атмосферы строится классификация климатов по Алисову. Под циркуляционным фактором в данном случае понимаются три основных процесса: горизонтальный перенос воздушных масс, их трансформация под действием подстилающей поверхности и фронтальная деятельность. Таким образом, в основе его классификации положено пространственно-временное распределение географических типов воздушных масс. Границы зон проводятся по положению климатологических фронтов.

В каждом полушарии есть четыре климатические зоны (экваториальная, тропическая, умеренная, полярная), где в течение всего года существуют условия для формирования определенной воздушной массы.

В связи с сезонными перемещениями основных воздушных масс и районами их формирования выделяются три промежуточные зоны: субэкваториальная (экваториальные муссоны), субтропическая, субполярная. В этих зонах преобладающие воздушные массы меняются в зависимости от времени года.

В каждом поясе под влиянием подстилающей поверхности формируются континентальные и океанические (морские) типы климатов. Кроме того, Алисов выделяет типы климатов западных и восточных побережий, формирование которых в большой степени зависит от особенностей атмосферной циркуляции в этих районах.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

КЛАССИФИКАЦИЯ КЛИМАТОВ ПО Б. П. АЛИСОВУ

Цель работы — знакомство с основами данной классификации климатов. Изучение общих физических закономерностей формирования климатов в различных поясах Земли, а также в различных их областях. Нахождение различий в климатах на различных континентах и их объяснение.

Литература

Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Гл. 6, 7. М., изд. МГУ, 1974.

Задание 1. Перечислите основные особенности и характеристики экваториального типа климата (годовые и месячные сезонные значения суммарной радиации, радиационного баланса, составляющих теплового баланса, облачности, температуры воздуха, осадков, режима ветра и особых явлений) и ответьте на вопросы.

1. Какие географические широты занимает эта зона и как провел границы зоны Б. П. Алисов?

2. Какие физические процессы являются основными в этой зоне?

3. Какова характерная особенность экваториального воздуха?

4. Что является отличительной особенностью температурного режима?

5. В какие периоды года и суток должны наблюдаться максимумы осадков? Существуют ли различия в суточном ходе осадков на суше и океане?

6. Какие типы погоды наблюдаются в экваториальной зоне?

7. Чем различаются между собой континентальные и океанические типы климатов?

Задание 2. Перечислите основные особенности и характеристики субэкваториальной зоны (экваториальных муссонов) и ответьте на вопросы.

1. Какие географические широты в среднем занимает эта зона и как провел ее границы Б. П. Алисов?

2. Почему экваториальный муссон в юго-восточной Азии проникает дальше к северу, чем в Африке и Северной Америке?

3. Почему на западных побережьях Южной Америки и Южной Африки отсутствует этот тип климата?

4. Когда в годовом ходе отмечаются в этой зоне максимальные температуры воздуха и чем это объясняется?

5. Чем можно объяснить, что в Австралии количество осадков в этой зоне меньше, чем в Азии?

Задание 3. Перечислите основные особенности и характеристики тропической зоны и ответьте на вопросы.

1. Какие географические широты в среднем занимает эта зона и как провел ее границы Б. П. Алисов?

2. Чем различаются между собой океанические и континентальные типы? Климаты западных и восточных побережий?

3. Где резче выражен тип климата западных побережий в северном или в южном полушарии? Почему?

4. Почему западное побережье Австралии этой зоны теплее, чем в Южной Африке?

5. Почему континентальные районы Австралии менее засушливы, чем в Северной Африке?

6. Чем отличаются климаты континентальных районов Африки северного и южного полушарий? Почему?

7. В чем своеобразие тропической зоны Северной Америки?

8. Где выше температура воздуха зимой — на западном или восточном берегу Северной Америки? Почему?

Задание 4. Перечислите основные особенности и характеристики субтропического климата и ответьте на вопросы.

1. Какие географические широты в среднем занимает эта зона и как провел ее границы Б. П. Алисов?
2. Чем различаются между собой континентальные и океанические типы? Климаты западных и восточных побережий?
3. Чем различаются между собой Атлантико-Средиземноморская область Европы от Средиземноморской области Азии?
4. Чем объяснить более суровые зимы в Иранской субтропической области Азии по сравнению со Средиземноморской?
5. Почему в муссонной субтропической зоне Азии западные районы несколько теплее восточных?
6. Чем различаются муссонные типы климатов Азии и Австралии?
7. Чем различаются средиземноморские типы климата Европы, Северной Америки и Австралии?
8. Почему на побережье Средиземного моря Африки наблюдается уменьшение осадков на восток?
9. Какие климатические области субтропической зоны выделяются в СССР и каковы их особенности?

Задание 5. Перечислите основные особенности и характеристики умеренной зоны и ответьте на вопросы.

1. Какие географические широты в среднем занимает зона и как провел ее границы Б. П. Алисов?
2. Чем различаются между собой океанические и континентальные типы западных и восточных побережий?
3. Почему западное побережье Северной Америки несколько холоднее Европы?
4. Чем различаются муссонные области Северной Америки и Азии?
5. Почему в континентальных районах Северной Америки высота снега больше, чем в континентальных районах Европы?
6. Какие климатические области выделяются в СССР и каковы их особенности?

Задание 6. Перечислите основные особенности и характеристики субарктической зоны и ответьте на вопросы.

1. Какие географические широты в среднем занимает зона и как провел ее границы Б. П. Алисов?
2. Чем различаются между собой океанические и континентальные типы климатов?
3. Какие области этой зоны являются наиболее холодными и теплыми и почему?
4. Какие климатические области выделяются в СССР и каковы их особенности?

Задание 7. Перечислите основные особенности и характеристики полярных районов и ответьте на вопросы.

1. Чем различаются между собой климаты Арктики и Антарктиды?
2. Почему в Антарктиде наблюдаются очень низкие температуры воздуха?
3. Почему в центральных районах Арктики температура воздуха выше, чем в Якутии?
4. Какие климатические области выделяются в СССР и каковы их особенности?

Тема 4. КЛИМАТОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В этом разделе климатологии изучаются методы разработки наиболее рациональных приемов и методов получения климатических показателей, позволяющих давать количественную оценку климата и оценивать его влияние на различные стороны производственной деятельности.

✓ Первичный материал различных видов наблюдений, состоящий из множества чисел, полученных в различные годы в разных районах разными методами, не представляется возможным непосредственно использовать ни для выявления закономерностей климата, ни для обеспечения запросов потребителей. Поэтому данные наблюдений надо обработать таким образом, чтобы в результате обобщения множество наблюденных значений заменить сравнительно небольшим числом количественных показателей. Для этого применяются как общие статистические приемы обработки выборочных статистических совокупностей, так и специальные методы климатологической обработки. ✓

Климатологические ряды представляют собой обычно погодичную метеорологическую информацию. Они всегда являются ограниченными, так как освещают какой-то короткий период наблюдений, т. е. представляют собой выборку из бесконечно длинного ряда. Характерной же особенностью климатологических рядов является то, что они берутся не произвольно, как это свойственно статистическим выборкам, а соответствуют лишь последнему периоду наблюдений. Однако выводы, которые получают по этим рядам, обычно относят ко всему неограниченному ряду, считая, что материал наблюдений является представительным или репрезентативным для всей генеральной совокупности. Климатологические ряды могут быть неоднородными как во времени, так и в пространстве. Поэтому, прежде, чем приступить к вычислению климатических показателей, необходимо проанализировать ряды на однородность. Другой обязательной задачей обработки является оценка точности полученных климатических показателей.

Усвоение апробированных приемов и методов климатологической обработки метеорологической информации позволяет грамотно работать с исходными рядами наблюдений, получать надежные климатические показатели, правильно применять современные статистические методы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1.

РАСЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОЦЕНКА ИХ ТОЧНОСТИ

Цель работы — научиться использовать климатологические ряды для получения климатических показателей, характеризующих временное распределение его членов. Освоить методику их расчета и оценки точности. Познакомиться с принципами применения теоретических законов для выравнивания эмпирических распределений.

Литература

1. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Гл. 2. — Л.: Гидрометеиздат, 1978.
2. Кобышева Н. В., Костин С. И., Струнников Э. А. Климатология. Гл. 8. — Л.: Гидрометеиздат, 1980.
3. Наровлянский Г. Я. Климатология. Ч. I. Л., изд. ЛВИКА, 1964.

Климатические показатели заменяют собой множество наблюдаемых значений и дают представление о режиме метеорологической величины и климате в данном районе в целом как среде обитания, а также о возможности хозяйственного освоения территории.

Для их расчета используется аппарат математической статистики и теории вероятности, а основой расчетов являются климатологические ряды. Каждый ряд можно охарактеризовать с помощью таких показателей, как вероятность и интегральная вероятность, среднее значение, показатели изменчивости, асимметрии и крутости.

Значения вероятности и интегральной вероятности рассчитываются на основе сгруппированных рядов.

Вероятность характеризует повторяемость метеорологической величины или явления в заданном интервале значений и вычисляется по формуле

$$p_i = \frac{m_i}{n}, \quad (4.1.1)$$

где m_i — повторяемость в каждой градации; $n = \sum m_i$ — число наблюдений в ряду.

На основании таблицы распределения вероятностей можно построить дифференциальную кривую распределения. Ее построение осуществляется по известным правилам.

Интегральная вероятность позволяет судить о повторяемости метеорологических величин, превышающих (или не превышающих) заранее заданное значение и вычисляется по формулам

$$P(x_i > a) = 1 - \frac{\sum m_i}{n}; \quad P(x_i \leq a) = \frac{\sum m_i}{n}; \quad (4.1.2)$$

Средние многолетние значения выражают в виде одного числа наиболее важную часть информации о режиме метеорологической величины. Они отражают фон, на котором происходят фактические изменения величины. С их помощью удобно проводить сопоставление метеорологических величин во времени и пространстве.

Среднее многолетнее значение в зависимости от вида таблиц, в которых представлен климатологический ряд (простой ряд или сгруппированный), рассчитывается по одной из формул:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{или} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^S \tilde{x}_i m_i}{n} = \sum_{i=1}^S \tilde{x}_i p_i, \quad (4.1.3)$$

где x_i — отдельные значения членов ряда; $\tilde{x}_i$ — срединное значение градаций; m_i и p_i — повторяемость и вероятность значений в градации; S — число градаций; n — длина ряда.

Показатели изменчивости делятся на две группы. Одни из них характеризуют изменения в климатологических рядах, связанные с периодическими процессами в атмосфере, обусловленные радиационными процессами. К ним относятся амплитуды годового и суточного хода. Другие характеризуют изменчивость, обусловленную непериодическими процессами и прежде всего циркуляционными. В этом случае используется достаточное число показателей. Это — среднее абсолютное и среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, крайние (абсолютные) значения и некоторые другие.

Среднее абсолютное отклонение v характеризует возможные ежегодные отклонения от среднего и рассчитывается по формулам

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad \text{или} \quad v = \frac{\sum_{i=1}^S |\tilde{x}_i - \bar{x}| m_i}{n} = \sum_{i=1}^S |\tilde{x}_i - \bar{x}| p_i. \quad (4.1.4)$$

Среднее квадратическое отклонение σ используется также для характеристики ежегодных отклонений от среднего значения и рассчитывается по формулам

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{или} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^S (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i}{n}} = \sqrt{\sum_{i=1}^S (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 p_i}. \quad (4.1.5)$$

Коэффициент вариации C_v характеризует относительную изменчивость и рассчитывается по формуле

$$C_v = \sigma / \bar{x}. \quad (4.1.6)$$

В случае подчинения членов ряда нормальному закону распределения верно соотношение

$$\sigma \approx 1,25 v. \quad (4.1.7)$$

Коэффициент асимметрии As характеризует симметричность распределения членов ряда относительно среднего значения и рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned} As &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \sigma^3} \quad \text{или} \quad As = \frac{\sum_{i=1}^s (\tilde{x}_i - \bar{x})^3 m_i}{n \sigma^3} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^s (\tilde{x}_i - \bar{x})^3 p_i}{\sigma^3}. \end{aligned} \quad (4.1.8)$$

Коэффициент эксцесса E характеризует вытянутость кривой распределения и рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned} E &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \sigma^4} - 3 \quad \text{или} \quad E = \frac{\sum_{i=1}^s (\tilde{x}_i - \bar{x})^4 m_i}{n \sigma^4} - 3 = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^s (\tilde{x}_i - \bar{x})^4 p_i}{\sigma^4} - 3. \end{aligned} \quad (4.1.9)$$

Если члены ряда подчиняются нормальному закону распределения, то $As=0$ и $E=0$.

Обязательным этапом обработки данных является оценка точности полученных показателей. Точность, или ошибки статистических показателей, оценивается как средними ошибками, так и предельными ошибками при заданном уровне значимости. Точность оценивается с помощью средних квадратических отклонений соответствующего показателя по отношению к статистическим показателям из ряда генеральной совокупности. Средние ошибки среднего значения ($\sigma_{\bar{x}}$), среднего квадратического отклонения (σ_v), коэффициента асимметрии (σ_{As}) и эксцесса (σ_E) оцениваются по формулам

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad \sigma_v = \frac{\sigma}{\sqrt{2n-1}}; \quad \sigma_{As} \approx \sqrt{\frac{6}{n}}; \quad \sigma_E \approx \sqrt{\frac{24}{n}}; \quad (4.1.10)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение членов ряда, n — длина ряда.

При оценке вероятностей чаще используется относительная ошибка $\frac{\sigma_p}{p}$

$$\frac{\sigma_p}{p} = \sqrt{\frac{1-p}{np}}; \quad (4.1.11)$$

При оценке предельных ошибок статистических показателей используется соотношение

$$\sigma_{ap} = \pm \tau_p \sigma_a \quad (4.1.12)$$

где σ_{ap} — предельная ошибка показателя «а» при уровне значимости p ; τ_p — нормированное отклонение; σ_a — средняя ошибка показателя.

При $n > 30$ принято считать, что распределения статистических показателей подчиняются нормальному закону и $\tau_p = 1,96$. При $n < 30$ распределение средних значений подчиняется закону Стьюдента, а средних квадратических отклонений — закону Пирсона, τ_p следует брать из соответствующих таблиц.

При обработке сгруппированных климатологических рядов с помощью микрокалькуляторов рациональнее использовать знания о статистических моментах и ввести условное отклонение $t_i = (\tilde{x}_i - a)/b$. Здесь $\tilde{x}_i$ — среднее значение градации; a — среднее значение градации, в котором находится модальное или медианное значение; b — ширина градаций.

Тогда начальные моменты вычисляются из соотношения

$$\alpha_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^S t_i^q m_i = \sum_{i=1}^S t_i^q p_i; \quad (4.1.13)$$

где $q = 1, 2, 3, 4$ — порядок момента.

Центральные моменты μ_q ($q = 2, 3, 4$) определяются из соотношений $\mu_2 = \alpha_2 - \alpha_1^2$; $\mu_3 = \alpha_3 - (3\alpha_2\alpha_1 - 2\alpha_1^3)$;

$$\mu_4 = \alpha_4 - 4\alpha_3\alpha_1 + 6\alpha_2\alpha_1^2 - 3\alpha_1^4. \quad (4.1.4)$$

Статистические показатели вычисляются по выражениям

$$\bar{x} = a + b\alpha_1; \sigma = b\sqrt{\mu_2}; As = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}; E = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3. \quad (4.1.15)$$

Поскольку эмпирические повторяемости рассчитываются с ошибками ввиду ограниченности рядов и условностями в выборе ширины градаций и их границ, то довольно часто применяется операция выравнивания эмпирических данных с помощью теоретических законов. При этом обязательными являются следующие этапы:

1. Подбор выравнивающей функции, который осуществляется визуально, или, что более строго, с помощью специальных критериев;

2. Расчет статистических показателей, входящих в формулу теоретического закона;

3. Расчет теоретических повторяемостей;

4. Проверка соответствия выбранного закона эмпирическому распределению. Это выполняется с помощью критериев согласия. Чаще всего используются критерии согласия Пирсона и Колмогорова:

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - m'_i)^2}{m_i}; \quad \lambda = D_{\max} \sqrt{n}, \quad (4.1.16)$$

где m_i , m'_i — эмпирические и теоретические повторяемости; $D_{\max}$ — наибольшее расхождение по ординате между эмпирической и теоретической интегральными кривыми распределения; n — длина ряда.

Если рассчитанные значения χ^2 и λ меньше табличных, определенных при заданном уровне значимости, т. е. $\chi^2 \leq \chi_p^2$ и $\lambda \leq \lambda_p$, то эмпирические данные неплохо согласуются с теоретическим законом.

При вычислении критерия Пирсона необходимо знать число степеней свободы, которое определяется из выражения

$$k = S - l - 1, \quad (4.1.17)$$

где S — число градаций; l — число статистических показателей, входящих в закон распределения.

Задание 1. По однородному ряду ежегодных значений метеорологической величины определить средние многолетние значения $\bar{x}$, среднее абсолютное $\bar{v}$ и среднее квадратическое σ отклонения, коэффициенты асимметрии As и эксцесса E . Оценить точность их расчета.

Рекомендации к выполнению задания

1. Расчет показателей выполняется по формулам (4.1.3—4.1.5), (4.1.8, 4.1.9) и следующей схеме:

Годы	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i - \bar{x})^3$	$(x_i - \bar{x})^4$
1.					
2.					
3.					
4.					
...					
...					
n					
	Σ	$\Sigma / /$	Σ	Σ	Σ

2. Ошибки показателей найти по формулам (4.1.10).

Задание 2. По однородному ряду ежегодных значений метеорологической величины рассчитать повторяемость (%) ее значений в выбранных градациях, а также интегральные повторяемости значений ниже и выше задаваемых. Построить кривую и функцию распределения. Определить медианное и модальное значения в ряду.

Рекомендации к выполнению задания 2

1. Выбрать ширину градаций и записать их левые и правые значения. В первую градацию должно входить минимальное значение, а в последнюю — максимальное. Границы градаций не должны перекрываться. Обычно правые значения интервалов кратны ширине градации.

2. Определить число случаев наблюдений (m_i), попадающих в каждую градацию. Обычно это делают путем выборки, которая представляет собой процесс последовательного отнесения каждого наблюдения к определенной градации.

3. Определить эмпирические вероятности (P_i %) величины в каждой градации по формуле (4.1.1).

4. Интегральные повторяемости (P %) ниже и выше заданных значений рассчитать относительно правых значений интервалов.

5. При построении дифференциальной кривой распределения сначала постройте гистограмму распределения. Кривую проводите через верхние основания прямоугольников и соблюдайте равенство площадей, отрезаемых и прирезаемых к прямоугольникам.

6. Интегральные кривые стройте относительно рассчитанных значений. Правильность их построения проверяется пересечением кривых в 50%-ной вероятности.

7. Модальное значение снимите с дифференциальной кривой распределения (как значение, имеющее наибольшую повторяемость), а медианное — с интегральной кривой (как значение 50%-ной вероятности).

Задание 3. По данным сгруппированного ряда метеорологической величины рассчитать $\bar{x}$, v , σ , As , E и определить их ошибки. Найдите доверительные интервалы для $\bar{x}$ и σ при 5%-ном уровне значимости.

- 11.9 - 10 127

Рекомендации к выполнению задания 3

1. При расчете статистических показателей ряда используйте следующую схему:

Градации от ... до	Средние значения градаций, $\bar{x}_i$	Повторяе- мость, m_i	Вероят- ность, p_i	$\bar{x}$ $(\bar{x}_i - \bar{x})$	$(\bar{x}_i - \bar{x}) p_i$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^2 p_i$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^3 p_i$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^4 p_i$
		$\sum m_i = n$		$\sum$	$\sum$	$\sum$	$\sum$	$\sum$

2. Расчет статистических показателей проведите по формулам (4.1.3—4.1.5), (4.1.8), (4.1.9).

3. Средние ошибки статистических показателей вычислите по формулам (4.1.10).

4. Доверительные интервалы $\bar{x}$ и σ найдите по формулам (4.1.12), если длина ряда $n \geq 30$. Если же длина ряда менее 30 значений, то квантили нормированных отклонений при определении доверительного интервала среднего значения берутся по таблице распределения Стьюдента, а для среднего квадратического отклонения — по таблицам распределения Пирсона.

Задание 4. По данным сгруппированного ряда метеорологической величины рассчитать $\bar{x}$, σ , As , E , используя статистические моменты и условные отклонения. Определить точность их расчета и предельные ошибки при 5%-ном уровне значимости.

Рекомендации к выполнению задания 4

1. При выполнении задания используйте следующую схему:

Градации от ... до	Средние значения градаций, $\bar{x}_i$	Вероятности, p_i	Условные отклонения, t_i	$t_i p_i$	$t_i^2 p_i$	$t_i^3 p_i$	$t_i^4 p_i$
				$\sum$	$\sum$	$\sum$	$\sum$

2. Условные отклонения рассчитываются по формуле $t_i = \frac{\tilde{x}_i - a}{b}$.

При небольшом числе градаций (менее 10) в качестве «а» следует принимать срединное значение градации с наибольшей повторяемостью. При большом числе градаций в качестве «а» лучше понимать средину градации, в которой находится медианное значение или даже срединное значение той градации, которая делит ряд на две равные части.

3. Начальные моменты рассчитайте по формуле (4.1.13). Для их расчета используйте суммы последних четырех колонок таблицы.

4. Вычислите центральные моменты через начальные по формулам (4.1.14).

5. Вычислите среднее значение, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты асимметрии и эксцесса по формулам (4.1.15).

6. Точность статистических показателей определите по формулам (4.1.10), (4.1.12).

Задание 5. Оценить влияние выбора ширины и границ градаций на изменение значений повторяемостей и других статистических показателей ряда.

Рекомендации к выполнению задания 5

Задание предполагает, что данные наблюдений, представленные в виде простого ряда, трижды группируются. Первый раз группировка выполняется по произвольно выбранной ширине и границам градаций. При второй группировке ширина градаций увеличивается или уменьшается (например, в 2 раза). При третьей группировке меняются только границы градаций, а ширина остается или как при первой группировке, или как при второй. Расчет статистических показателей выполняется по схеме задания 4.

Задание 6. Определить рациональную длительность периода осреднения для вычисления климатических норм (оптимальная точность вычисления средних месячных значений: температура воздуха 0,2° С, давление 0,2 гПа, осадки 10% месячной суммы).

Рекомендации к выполнению задания 6

1. Для нахождения рациональной длительности периода осреднения необходимо сначала определить среднее квадратическое отклонение.

2. Формула для нахождения необходимой длины ряда может быть получена из соотношения (4.1.10).

Задание 7. Выравнить с помощью теоретического закона эмпирическое распределение средних месячных температур воздуха. Оценить правильность подбора теоретического закона с помощью критериев χ^2 и λ . Записать ряд в аналитической форме.

Рекомендации к выполнению задания 7

1. Сгруппировать ряд и построить кривую распределения.
2. Вычислить основные статистические показатели распределения ряда ($\bar{x}$, σ , As, E).
3. Проверить возможность описания ряда нормальным законом распределения, для этого убедиться, что: а) коэффициенты асимметрии и эксцесса отличаются от нуля не более чем на свою ошибку, б) среднее, модальное и медианное значения различаются не слишком сильно, в) выполняется соотношение $\sigma \approx 1,25 \bar{v}$.
4. Если все три проверки указывают на то, что распределение близко к нормальному, то выполнить выравнивание, для чего найти теоретические повторяемости по формуле

$$m'_i = \frac{n b}{\sigma} z_{\tau_i}, \quad (4.1.18)$$

где $z_{\tau_i} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\tau_i^2}{2}}$; $\tau_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}}{\sigma}$; b — ширина градаций.

Значения z_{τ_i} находятся по специальным таблицам (см. табл. 4.1.3). Выравнивание и оценку согласия эмпирических и теоретических распределений удобно выполнять по схеме

Градация от ... до	Значения середин градаций, $\bar{x}_i$	Повторяе- мость, m_i	τ_i	z_{τ_i}	m'_i	$m_i - m'_i$	$\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$
							Σ

5. Найти фактическое значение χ^2 по формуле (4.1.16) и сравнить его с табличным значением при 5%-ном уровне значимости. Число степеней свободы определить по выражению (4.1.17).

6. Построить эмпирическую и теоретическую интегральные кривые распределения. Определить наибольшее расхождение между ними $D_{\max}$ и рассчитать значение критерия λ . Сравнить его с табличным значением при 5%-ном уровне значимости. Если фактические значения обоих критериев меньше, чем их табличные значения, то согласие между теоретическими и эмпирическими повторяемостями хорошее при 5%-ном уровне значимости.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое климатический режим и чем он оценивается?
2. Могут ли первичные данные наблюдений быть использованы без предварительного обобщения для выявления климатических закономерностей?
3. Какие виды метеорологических наблюдений вам известны и с каких пор они производятся?
4. Что такое метеорологические ряды и каковы их особенности?
5. На каком основании для исследования метеорологических рядов применяют математический аппарат теории вероятности и математической статистики?
6. Какие климатические показатели чаще всего используются при анализе климатов и оценке климатических ресурсов различных районов и что они характеризуют?
7. Какие процессы обуславливают периодическую изменчивость метеорологических величин и с помощью каких показателей она оценивается?
8. Чем обусловлена непериодическая изменчивость метеорологических величин и с помощью каких показателей она оценивается?
9. Для чего служат коэффициенты асимметрии и эксцесса и как их рассчитывают?
10. Как рассчитываются основные статистические показатели с помощью моментов распределения, для чего вводится условное отклонение?

11. Чем и по отношению к чему оцениваются ошибки статистических показателей? Что они характеризуют?

12. Как определить ошибки статистических показателей? При каких условиях применимы используемые формулы? От чего зависит точность статистических показателей? Как определить необходимую длину ряда для обеспечения заданной точности?

13. Как определяют предельные ошибки при задаваемом уровне значимости? Как выбирать уровень значимости и что он характеризует?

14. Какие требования предъявляются к точности климатических показателей в зависимости от их назначения?

15. Что такое оптимально возможная точность и какие значения она имеет для температуры и давления воздуха, осадков, облачности?

16. Что следует считать климатической нормой и чем определяется оптимальная длительность периода осреднения?

17. Для чего производится выравнивание рядов? В каком порядке оно выполняется?

18. Как проверить, подчиняется ли эмпирическое распределение нормальному закону?

19. Чем различается применение критериев согласия Пирсона и Колмогорова?

Средние месячные температуры воздуха, ст. Москва, с/х академия

Таблица 4.1.1

Годы	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1881	-13,2	-9,6	-6,7	0,7	11,0	14,9	17,8	15,5	8,6	2,1	-3,0	-7,8
1882	-3,0	-5,5	-0,3	2,9	12,7	15,1	19,7	18,6	11,0	1,3	-4,1	-12,7
1883	-16,7	-10,9	-7,4	2,2	13,8	16,9	18,3	14,5	12,7	4,9	0,5	-5,0
1884	-10,0	-8,3	-8,2	-0,7	8,5	16,3	16,6	12,0	8,0	5,0	-3,0	-3,8
1885	-11,0	-7,2	-3,7	1,2	11,3	13,8	21,7	13,6	9,1	5,1	-6,2	-6,9
1886	-9,1	-14,0	-7,2	4,7	10,8	14,8	17,5	15,3	9,1	2,5	0,1	-2,2
1887	-7,9	-7,6	-6,9	3,8	14,2	12,9	17,5	14,9	12,7	3,5	-2,1	-5,7
1888	-14,3	-11,3	-10,4	5,0	10,0	12,4	16,8	14,9	10,4	4,3	-3,4	-14,1
1889	-15,1	-11,2	-9,4	3,2	14,8	14,1	17,7	15,0	8,9	6,8	-0,1	-8,5
1890	-7,9	-7,6	-1,5	7,1	12,7	16,6	19,8	18,7	11,5	3,0	-6,8	-13,8
1891	-17,7	-6,1	-1,4	4,2	13,9	14,9	19,5	15,1	9,1	3,3	-7,6	-4,3
1892	-13,0	-8,1	-5,6	2,5	12,7	16,8	17,1	15,5	11,5	3,0	-3,2	-13,0
1893	-21,6	-15,8	-5,1	-0,5	10,1	14,8	18,7	16,4	10,5	6,8	-2,0	-6,4
1894	-9,3	-5,9	-4,5	4,6	12,7	13,6	16,4	16,9	7,3	2,7	-1,2	-7,1
1895	-8,6	-13,5	-4,0	1,4	10,9	16,8	18,5	15,3	9,8	7,3	-2,1	-11,9
1896	-13,6	-11,4	-4,7	0,5	10,0	17,6	18,3	17,6	11,4	8,1	-4,7	-10,9
1897	-10,9	-10,6	-5,3	4,8	16,4	17,3	20,1	19,1	11,8	4,9	-3,5	-10,7

Продолжение табл. 4.1.1

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1898	-7,8	-10,4	-10,3	0,9	14,8+	15,7	19,0	17,0	9,0	0,3-	0,7	-4,1	3,7
1899	-4,4	-10,0	-7,4	4,0-	10,7-	12,8	18,5	12,9	11,6	4,3	-0,3	-11,6	3,4
1900	-13,8	-11,0	-4,4	1,9+	9,7-	13,5	17,1	17,2	9,2	5,8	-3,8	-6,6	2,8
1901	-6,6	-8,8	-4,8	3,7-	10,4-	19,9	17,4	18,1	9,9	5,1	-3,6	-9,3	4,3
1902	-7,7	-8,4	-4,1	0,4	10,9-	15,9	16,2	14,0	8,2	2,0-	-5,9	-12,4	2,4
1903	-8,0	-4,5	-2,7	7,9X	11,9+	18,2	18,6	15,9	11,3	0,6-	-0,6	-7,9	5,1
1904	-7,6	-5,8	-6,2	3,5-	8,8-	11,9	14,6	14,4	8,2	5,1	-2,8	-8,2	3,0
1905	-12,1	-7,2	-5,0	3,2-	14,1+	17,3	16,4	15,2	9,9	5,2	-0,8	-5,5	4,2
1906	-6,9	-8,0	-2,9	6,8	16,3+	16,3	18,6	14,8	7,7	3,9+	-1,4	-7,7	4,8
1907	-15,9	-10,3	-4,2	2,7+	9,6-	15,2	17,8	14,2	9,5	5,2	-6,8	-14,5	1,9
1908	-11,6	-8,7	-7,7	2,6+	8,7-	14,3	16,7	14,7	10,4	2,1-	-8,1	-9,6	2,0
1909	-10,5	-11,2	-6,5	1,5+	8,1-	14,7	16,1	15,8	13,7	7,0	-3,1	-4,0	3,5
1910	-7,8	-6,8	-2,4	6,8	12,4+	15,8	18,2	13,9	9,9	1,9-	-2,0	-3,0	4,7
1911	-11,5	-14,4	-6,2	4,5-	12,0+	14,9	15,5	16,4	9,3	3,4-	0,6	-6,7	3,2
1912	-15,9	-13,6	-0,1	1,9+	8,4-	18,0	14,7	16,4	10,2	-0,2-	-2,1	-3,7	2,8
1913	-9,9	-10,1	-2,2	8,6X	8,5-	13,7	17,4	17,9	11,2	2,0-	1,7	-5,2	4,5
1914	-10,3	-1,3	-2,5	2,7+	12,9+	16,5	19,5	13,2	9,1	1,2-	-5,3	-4,3	4,3
1915	-6,5	-6,5	-7,7	3,3-	10,3-	13,7	18,3	13,9	10,7	2,2-	-2,8	-10,1	3,2
1916	-6,0	-5,1	-5,6	5,2	9,6-	14,9	17,1	13,6	8,0	3,5-	-1,4	-8,4	3,8

Продолжение табл. 4.1.1

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1917	-11,9	-17,9	-10,4	5,8✓	7,5	19,0	17,6	18,0	11,3	6,3	0,3	-8,1	3,1
1918	-7,4	-6,4	-6,2	5,3✓	6,0	14,7	17,5	13,7	10,5	7,3	-1,7	-7,5	3,8
1919	-9,5	-10,2	-8,5	3,9	8,9	16,8	18,6	14,0	13,2	4,7	-8,1	-8,5	2,9
1920	-9,7	-9,6	-0,6	9,3✓	15,5+	14,7	20,8	18,4	11,3	-0,4	-3,2	-9,1	4,8
1921	-9,7	-10,9	0,6	10,4✓	15,7+	17,1	15,5	15,6	9,1	3,1	-5,3	-9,2	4,3
1922	-10,5	-8,8	-3,5	4,7	12,2+	15,4	18,2	15,7	9,8	2,4	-1,2	-6,4	4,0
1923	-7,5	-13,6	-5,2	0,5✓	12,4+	14,7	15,6	13,4	12,3	7,1	2,6	-7,2	3,8
1924	-14,0	-11,7	-6,3	3,3	13,0+	17,2	16,0	16,0	13,5	4,3	-1,5	-7,4	3,5
1925	-3,7	-2,3	-2,1	6,9✓	13,3+	14,5	19,1	16,3	10,5	2,4	-3,0	-6,9	5,4
1926	-12,4	-10,7	-5,4	1,5+	13,1+	16,8	16,8	13,1	10,6	2,7	2,1	-10,1	3,2
1927	-14,8	-8,5	-3,6	3,6	9,3	16,2	18,6	18,4	11,9	3,6	-2,3	-11,6	3,4
1928	-7,4	-12,9	-7,1	1,6+	11,7+	12,2	16,4	14,8	11,2	4,4	2,5	-7,3	3,3
1929	-11,5	-19,5	-7,8	-1,4	15,0+	13,6	18,2	18,5	9,2	7,6	0,4	-6,0	3,0
1930	-4,8	-10,9	-1,3	6,1✓	12,0+	13,0	16,9	18,8	8,4	5,6	-0,2	-10,4	4,4
1931	-11,2	-15,1	-5,2	2,6+	13,6+	14,8	20,4	16,7	9,9	4,1	-3,2	-7,3	3,3
1932	-4,0	-14,8	-7,6	4,2	13,9+	16,8	19,3	19,1	12,2	6,2	-0,8	-1,4	5,3
1933	-13,1	-10,5	-3,9	4,2	9,2	15,0	19,8	14,4	11,1	4,8	-4,2	-14,7	2,7
1934	-7,4	-7,7	-2,4	6,1✓	14,8+	13,3	19,6	16,7	12,2	7,4	1,7	-9,9	5,4
1935	-11,1	-4,8	-3,0	4,7	9,7	17,1	15,2	16,3	11,5	8,6	-2,5	-5,5	4,7
1936	-4,9	-13,0	-1,9	4,3	12,6	19,0	22,7	17,7	10,1	2,3	0,1	-2,5	5,5
1937	-11,6	-7,1	-1,5	7,6✓	11,6	18,0	17,6	17,8	13,8	5,9	-0,1	-8,4	5,3

Окончание табл. 4.1.1

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1938	-8,9	-6,1	-0,7	3,9	12,1+	15,9	23,3	21,7	14,9	6,2	2,7	-10,5	6,2
1939	-8,6	-4,1	-3,3	3,3	10,6-	17,6	20,2	19,6	8,5	1,9	-0,6	-7,4	4,8
1940	-19,4	-11,88	-5,1	3,0+	12,9+	15,5	19,0	18,4	13,1	2,9	1,5	-7,6	3,5
1941	-14,2	-10,6	-6,3	1,7+	7,3-	12,3	21,0	17,0	9,2	2,1	-5,3	-12,8	1,8
1942	-20,2	-11,8	-9,7	3,1-	11,7+	13,9	18,0	16,4	10,7	6,3	-4,0	-7,7	2,2
1943	-15,3	-6,3	-2,4	6,5	12,5+	16,0	17,6	16,6	11,0	5,6	-0,6	-3,7	4,8
1944	-3,7	-5,8	-2,3	1,6+	11,9+	15,3	18,2	16,2	12,9	5,1	-2,0	-8,8	4,9
1945	-10,6	-9,2	-5,7	3,6-	8,4-	15,2	18,1	17,6	11,0	2,6	-3,2	-9,8	3,2
1946	-8,0	-9,2	-4,1	4,4-	11,1-	20,0	18,6	18,4	11,1	0,1	-3,8	-7,8	4,2
1947	-10,3	-14,4	-4,8	4,9-	10,7-	17,3	18,2	16,6	11,7	3,2	-1,5	-3,8	4,0
1948	-7,8	-10,7	-4,4	5,9	15,3+	20,0	16,4	17,5	11,0	4,6	-1,6	-4,7	5,1
1949	-3,8	-7,4	-2,6	4,5-	15,2+	16,8	17,3	16,2	12,1	5,1	-0,4	-4,4	5,7
1950	-18,0	-6,7	-2,1	9,2	11,8+	14,8	15,7	13,9	12,0	4,9	-0,5	-5,6	4,1
1951	-12,0	-12,3	-3,7	8,5	9,5-	17,3	18,2	18,2	11,9	2,8	-4,8	-1,3	4,3
1952	-4,2	-7,1	-9,0	5,3	10,1-	16,9	17,4	16,7	12,1	3,9	-1,1	-5,8	4,6
1953	-10,3	-15,5	-2,6	7,2	11,3-	18,9	18,8	17,2	9,8	5,8	-3,3	-5,7	4,3
1954	-14,3	-13,9	-3,3	3,0+	12,6+	18,7	20,7	18,3	12,4	5,7	-1,6	-5,0	4,4
1955	-6,4	-6,9	-4,7	1,5+	10,4-	14,8	17,7	18,1	14,1	7,9	-3,1	-14,2	4,1
1956	-10,8	-18,5	-3,5	4,1-	10,6-	20,6	15,0	14,6	8,6	4,8	-5,1	-4,1	3,0
1957	-6,0	-1,8	-6,1	6,8	14,4+	15,1	18,5	17,3	12,5	5,3	-0,8	-4,6	5,9
1958	-6,8	-7,5	-5,9	4,3	13,1+	14,8	18,2	15,7	9,2	6,3	-0,7	-7,5	4,4
1959	-4,2	-5,4	-1,1	6,9	11,4-	16,8	20,5	17,2	8,3	2,3	-5,0	-10,9	4,7
1960	-9,2	-7,6	-5,3	5,4	11,7+	18,4	21,3	16,3	10,0	2,4	-3,7	0,1	5,0

Таблица 4.1.2

Средние месячные и годовые температуры воздуха, ст. Ленинград

34

Годы	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1881	-11,8	-9,3	-6,4	-1,0	6,7	14,7	17,1	15,1	10,8	2,8	0,0	-4,9	2,8
1882	-1,5	-3,8	-0,1	3,7	10,5	14,8	18,8	19,0	12,1	2,8	-5,1	-11,0	5,0
1883	-12,9	-8,8	-8,2	3,1	9,6	17,2	17,3	14,5	12,1	5,2	2,7	-2,5	4,1
1884	-6,6	-6,4	-5,4	0,6	6,5	15,5	17,0	13,6	9,7	6,3	-2,4	-6,6	3,6
1885	-6,7	-4,9	-3,9	1,3	8,7	13,6	20,8	15,3	9,0	4,3	-3,2	-4,6	4,1
1886	-9,5	-9,5	-5,9	4,7	9,7	15,9	18,0	16,8	10,1	4,2	1,6	-2,0	4,5
1887	-4,4	-3,5	-3,9	3,0	10,9	13,0	17,7	15,2	12,6	3,1	-0,5	-6,7	4,7
1888	-11,5	-12,1	-10,1	1,9	7,2	12,5	15,7	15,4	10,7	3,4	-1,4	-8,2	2,0
1889	-7,9	-11,1	-7,3	2,0	12,3	15,3	17,2	15,1	9,5	7,2	2,0	-3,9	4,2
1890	-5,8	-5,2	0,4	6,3	11,0	15,4	17,5	16,6	12,0	3,7	-3,0	-6,5	5,2
1891	-9,1	-3,6	-2,8	3,0	9,9	13,1	18,3	13,6	9,7	5,5	-5,4	-3,0	4,1
1892	-10,7	-8,4	-5,0	1,1	8,5	12,0	16,2	14,7	11,6	4,0	-0,6	-10,5	2,7
1893	-15,4	-17,1	-5,0	-0,2	7,9	14,9	16,1	15,2	8,7	6,7	-1,8	-3,3	2,2
1894	-4,0	-3,9	-3,0	5,9	10,6	14,7	16,7	15,9	7,0	2,0	0,5	-5,1	4,8
1895	-7,9	-15,1	-5,0	1,9	10,7	16,0	16,5	15,5	10,4	6,3	1,1	-6,2	3,7
1896	-6,5	-8,8	-3,0	2,2	9,3	17,7	19,1	15,5	10,5	7,9	-2,8	-6,2	4,6
1897	-10,1	-8,6	-4,5	4,5	15,9	14,3	18,3	16,5	10,7	5,4	-0,2	-5,3	4,8
1898	-3,8	-8,4	-6,8	1,8	11,5	15,7	16,8	17,1	9,7	2,6	2,4	-3,0	4,6

Продолжение табл. 4.1.2

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1899	-7,0	-8,1	-8,1	3,0	8,4	11,4	19,6	13,2	10,8	6,0	1,5	-8,0	3,6
1900	-8,7	-8,7	-5,6	1,8	7,8	13,0	16,3	17,4	9,5	5,8	-1,4	-4,9	3,5
1901	-3,3	-10,2	-5,7	3,3	9,4	17,4	19,3	17,5	11,7	6,8	-2,5	-9,0	4,6
1902	-9,3	-7,6	-5,2	-1,5	8,0	12,4	14,9	13,5	9,1	2,2	-3,2	-8,9	2,0
1903	-6,7	-3,5	0,4	5,6	10,1	16,3	16,5	14,7	11,5	1,0	1,1	-3,8	5,3
1904	-3,2	-7,6	-3,9	4,1	6,8	12,2	14,3	14,1	10,5	6,2	-2,0	-6,1	3,8
1905	-8,6	-4,2	-1,3	2,3	10,9	16,7	16,9	14,8	10,0	3,9	0,1	-3,6	4,8
1906	-5,0	-4,9	-4,3	4,6	15,4	15,7	18,6	14,4	8,6	4,8	0,0	-4,9	5,2
1907	-12,6	-6,8	-2,6	3,4	7,0	15,2	17,7	13,6	10,0	7,5	-2,0	-13,3	3,1
1908	-8,1	-5,9	-4,7	3,6	7,2	13,8	16,6	15,1	8,6	4,6	-3,5	-3,9	3,7
1909	-4,5	-10,9	-3,3	0,2	5,8	14,0	16,3	15,1	12,5	9,1	-2,4	-2,7	4,1
1910	-5,5	-2,4	0,2	6,0	11,0	15,2	17,5	13,5	11,8	3,8	-2,4	-1,7	5,6
1911	-6,4	-12,3	-3,6	1,6	10,5	13,5	15,9	17,8	10,4	4,1	2,6	-3,4	4,2
1912	-11,9	-11,7	0,6	0,2	8,4	16,1	17,2	17,5	9,9	1,3	-0,4	-1,9	3,8
1913	-6,1	-7,1	-0,8	6,4	8,2	13,5	19,0	17,7	11,7	3,6	2,0	-5,3	5,2
1914	-8,8	-2,0	-2,6	3,4	11,0	16,2	21,1	13,6	10,5	2,7	-1,1	-0,7	5,3
1915	-8,0	-6,8	-8,5	2,6	8,5	12,7	19,1	15,2	10,3	3,0	-2,7	-13,3	2,7
1916	-4,9	-4,1	-4,5	4,0	7,8	14,3	19,4	13,6	8,6	2,1	1,8	-4,1	4,5
1917	-11,0	-14,5	-11,1	2,9	6,9	18,5	15,9	19,0	11,2	7,1	0,9	-5,4	3,4
1918	-10,7	-6,8	-4,7	4,6	6,4	12,4	17,9	13,6	10,4	7,9	1,8	-5,7	3,9
1919	-5,3	-9,7	-7,4	2,3	9,5	16,2	19,5	14,5	12,4	5,3	-5,1	-8,5	3,6

Продолжение табл. 4.12

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1920	-9,6	-4,0	0,8	7,7	13,9	14,6	19,7	17,1	12,5	2,2	0,6	-4,2	5,9
1921	-7,7	-9,5	0,6	8,3	14,2	15,4	15,3	15,8	9,9	3,1	-5,7	-6,6	4,4
1922	-10,0	-8,0	-3,9	2,9	9,7	15,0	17,3	15,7	11,2	3,1	-0,8	-5,6	3,9
1923	-3,9	-13,3	-5,3	-0,3	7,7	11,5	16,7	13,2	11,7	6,2	2,4	-4,4	3,5
1924	-10,1	-8,1	-4,6	0,7	9,4	14,0	16,8	17,1	13,1	6,6	1,3	-2,1	4,5
1925	-0,5	-1,4	-4,6	5,5	10,8	13,8	19,9	16,0	10,7	2,9	-3,5	-7,5	5,2
1926	-12,9	-8,8	-4,2	0,8	10,4	15,6	17,5	14,9	11,0	2,3	1,9	-7,1	3,4
1927	-9,7	-6,8	-1,8	2,5	7,1	13,3	21,5	18,4	10,9	3,0	-2,8	-8,0	4,0
1928	-5,9	-7,7	-4,3	2,8	10,3	11,5	14,7	15,0	10,8	5,1	2,8	-3,1	4,3
1929	-10,3	-16,4	-5,0	-1,8	11,9	13,6	17,5	16,5	10,4	6,9	2,6	0,2	3,8
1930	-0,9	-6,5	-1,5	5,0	12,3	14,6	18,1	17,4	8,7	5,7	1,3	-6,9	5,6
1931	-7,8	-10,3	-6,5	3,2	12,0	14,3	19,2	17,1	9,0	4,3	0,2	-5,6	4,0
1932	-2,4	-10,4	-6,5	3,6	10,9	14,3	20,2	18,6	12,2	5,0	0,1	1,0	5,6
1933	-8,9	-7,7	-3,0	3,5	8,1	15,8	18,9	14,7	11,0	5,1	-2,0	-6,9	4,1
1934	-3,1	-5,4	-2,0	4,2	12,7	14,0	20,0	17,1	14,5	7,6	3,0	-5,3	6,4
1935	-8,1	-4,2	-2,9	3,1	6,9	15,9	15,7	16,6	10,6	7,8	0,0	-2,0	5,0
1936	-4,3	-10,8	-0,4	4,3	11,4	19,1	20,5	16,7	10,7	2,5	2,0	-0,1	6,0
1937	-7,5	-6,6	-1,5	6,6	11,7	18,1	18,1	19,0	13,2	6,4	2,1	-9,1	5,9
1938	-6,7	-3,6	0,6	3,0	9,6	14,3	21,5	19,4	14,9	6,5	3,4	-6,4	6,4
1939	-7,4	-1,7	-2,4	1,6	9,0	15,7	18,9	19,8	8,9	2,2	0,7	-6,1	4,9

Продолжение табл. 4.1.2

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1940	-14,6	-14,5	-8,3	1,7	11,5	14,6	19,1	16,4	11,3	4,7	1,1	-6,0	3,1
1941	-14,0	-8,6	-5,9	0,0	6,4	11,9	21,1	17,1	8,7	1,4	-4,2	-12,6	1,8
1942	-18,7	-12,4	-11,5	1,8	8,3	14,1	16,6	16,9	11,1	6,9	-2,4	-4,1	2,2
1943	-11,8	-3,1	-0,3	4,4	10,1	16,1	17,5	16,0	11,6	7,8	1,3	-1,1	5,7
1944	-3,4	-5,6	-2,7	0,3	9,5	14,1	18,5	17,1	11,5	6,6	-0,2	-3,3	5,2
1945	-6,6	-4,8	-5,9	3,0	7,8	14,1	19,1	17,8	9,3	2,5	-1,2	-9,7	3,8
1946	-5,7	-10,0	-4,2	3,5	8,7	16,6	18,7	16,5	11,6	2,0	-1,3	-4,1	4,4
1947	-8,4	-14,8	-6,9	3,5	8,7	16,6	17,1	16,1	12,6	4,5	-1,1	-4,6	3,6
1948	-7,7	-9,6	-3,9	4,0	12,7	17,2	16,7	15,6	11,4	5,2	0,6	-1,3	5,1
1949	-2,2	-2,9	-2,3	4,5	12,8	13,7	17,1	14,8	13,9	6,0	0,9	-1,5	6,2
1950	-13,9	-5,9	-2,3	7,2	10,2	14,0	15,9	15,6	12,0	5,7	0,4	-3,7	4,6
1951	-8,3	-7,6	-5,5	5,5	7,0	14,7	15,9	18,5	12,7	5,8	-2,0	-0,9	4,6
1952	-2,4	-4,8	-9,3	4,1	7,3	14,6	17,2	15,2	9,7	2,8	-1,1	-3,7	4,1
1953	-7,2	-12,0	-1,9	5,6	9,6	17,9	18,0	16,0	9,7	6,8	0,3	-3,2	5,0
1954	-8,7	-12,1	-1,0	1,9	10,6	15,7	18,5	16,4	11,9	5,6	-1,0	-1,3	4,7
1955	-6,0	-7,9	-5,9	-0,8	7,0	12,9	17,4	19,0	14,3	7,2	-2,4	-14,0	3,4
1956	-9,2	-14,8	-4,1	0,4	8,9	18,0	15,2	14,0	9,2	4,8	-3,5	-2,5	3,0
1957	-3,3	-2,3	-7,1	3,0	11,0	13,6	19,4	16,0	10,7	5,8	1,1	-2,4	5,5
1958	-7,5	-8,7	-6,8	2,3	9,2	13,9	16,5	14,5	10,8	6,3	2,6	-8,1	3,8
1959	-4,1	-3,7	-0,6	4,6	10,3	16,3	19,0	17,9	8,6	3,8	-0,8	-6,8	5,4
1960	-10,0	-9,6	-5,2	3,8	11,9	16,7	20,1	16,6	10,3	2,8	-1,5	-0,1	4,6

Продолжение табл. 4.1.2

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1961	-3,4	-0,7	0,1	2,5	11,1	18,3	17,7	15,8	10,3	8,3	1,1	-5,5	6,3
1962	-3,2	-5,2	-6,9	6,0	9,6	12,3	16,1	14,0	10,8	6,8	1,8	-5,2	4,7
1963	-12,9	-11,2	-9,7	3,8	13,9	14,1	18,3	17,9	14,0	6,4	-0,2	-6,5	4,0
1964	-4,0	-8,4	-5,1	3,4	10,6	15,7	17,9	15,3	11,1	8,2	-1,4	-3,2	5,0
1965	-5,3	-8,8	-3,4	4,2	7,1	15,7	15,5	15,3	13,2	5,2	-4,3	-3,0	4,3
1966	-14,9	-13,9	-2,8	1,2	10,7	17,0	18,3	15,3	9,2	5,7	0,9	-8,1	3,2
1967	-12,2	-6,8	1,7	4,5	11,1	14,1	17,5	17,5	13,4	8,9	2,8	-9,2	5,3
1968	-16,5	-5,9	-0,7	3,8	9,4	17,0	14,2	17,4	11,2	2,6	-1,1	-3,0	4,0
1969	-12,2	-9,4	-6,0	3,7	8,8	14,7	16,8	16,2	10,2	5,4	0,6	-5,8	3,6
1970	-9,7	-9,6	-0,5	4,1	10,3	16,9	18,4	16,2	10,9	4,6	-0,9	-4,0	4,7
1971	-2,3	-7,8	-4,5	2,8	10,6	14,5	17,5	16,5	10,2	4,3	-1,5	-3,7	4,7
1972	-11,2	-4,1	-2,4	3,2	10,3	18,3	22,1	19,8	11,4	5,0	0,3	1,8	6,2
1973	-5,3	-4,3	-1,5	5,0	11,6	17,4	20,3	15,9	8,1	3,0	-1,7	-6,0	5,2
1974	-7,1	0,1	0,2	1,9	7,1	16,0	18,2	15,8	13,8	7,3	2,2	0,1	6,3
1975	-2,0	-4,8	0,7	5,4	13,6	14,7	18,6	16,9	13,8	5,2	-0,6	-2,2	6,6
1976	-11,2	-8,6	-3,7	2,7	10,3	11,9	16,5	14,4	9,4	1,0	0,0	-3,9	3,2
1977	-7,2	-7,9	-2,5	4,4	11,2	16,0	17,3	16,0	9,7	4,4	2,4	-6,1	4,8
1978	-7,0	-11,5	-1,3	2,5	10,7	14,5	16,6	14,8	9,7	3,9	2,6	-13,5	3,5
1979	-8,9	-10,1	-0,7	2,6	12,5	16,4	16,6	17,3	11,1	5,0	1,6	-3,2	5,0
1980	-8,9	-8,1	-4,6	5,0	7,7	18,6	17,0	15,5	11,1	5,9	-1,7	-3,4	4,5

Таблица 4.1.3

Значения функции z_{τ_i} *

τ_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	2175	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	1949	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2,0	0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2,1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0296	0290
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0050	0048	0048	0047	0046
3,0	0044	0043	0042	0040	0039	0037	0036	0036	0035	0034
4,0	0001	0001	0001	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

* Все значения умножены на 10 000.

Таблица 4.1.4

Значения критерия χ^2 при 5%-ном уровне значимости

Число степеней свободы, k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
χ^2	3,8	6,0	7,8	9,5	11,1	12,6	14,1	15,5	16,9	18,3

Таблица 4.1.5

Значения критерия λ при различных уровнях значимости

Уровень значимости, %	10	5	1	0,1
λ	1,224	1,358	1,627	1,950

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ПРОВЕРКА РЯДОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ И СЛУЧАЙНОСТЬ

Цель работы — знакомство с методами климатологической проверки рядов на однородность и случайность.

Литература

1. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Гл. 3. — Л.: Гидрометеониздат, 1978.
2. Шелутко В. А. Техника статистических вычислений в гидрологии. Гл. 6 — Л., ЛГМИ, 1977.

Известно, что климатологические ряды должны быть однородными во времени и сравнимыми в пространстве. Нарушение этих однородностей требуется выявлять и устранять. В однородных рядах ежегодная изменчивость значений членов ряда обусловлена только естественной изменчивостью атмосферных процессов. Однородность условий наблюдений может быть нарушена за счет изменения микроклимата на участке станции вследствие переноса метеорологической площадки или изменения условий окружающей среды в ближайших окрестностях станции в связи с застройкой, созданием водохранилищ, вырубкой деревьев или их насаждением и разрастанием и др. Изменение типа приборов, по которым производятся наблюдения, и их установок, системы сроков наблюдений как в отношении их числа, так и времени суток, методики осреднения наблюдаемых значений также может привести к нарушению однородности в метеорологических рядах.

✓ В настоящее время при анализе климатологических рядов на однородность чаще всего используются два метода: соответствующих разностей или отношений. Выбор метода определяется пространственно-временной структурой метеорологической величины. ✓ Обычно методом отношений проверяются такие ряды, в которых в качестве левого предела числовых значений является нуль. Метод разностей (отношений) основывается на том факте, что между соседними станциями существует хорошая согласованность в изменчивости самих метеорологических величин, поэтому разности (отношения) их ежегодных значений меняются незначительно. Переломы (скачки) в ходе ежегодных разностей или отношений значений на соседних станциях свидетельствуют о нарушении однородности в рядах.

Метод разностей (отношений) позволяет не только выявить, но и устранить выявленную неоднородность. Для этого вычисляются поправки на устранение неоднородности. В методе разностей поправка определяется как разность между средними разностями на отдельных участках ряда, а в методе отношений находят отношение средних значений на однородном и неоднородном участках ряда. Поправки вводятся в неоднородную (обычно первую) часть ряда.

На практике выявление неоднородности методом отношений выполняется графическим путем. Для этого строятся графики корреляционной зависимости между значениями величин на соседних станциях. Каждая точка на графике помечается годом, к которому она относится. Признаком нарушения однородности ряда на проверяемой станции при условии, что на другой станции ряд однороден, является группировка точек за соответствующие годы в различных частях графика. Наклон линий корреляционных зависимостей, проведенных по этим двум группам точек, будет характеризовать средние значения отношений однородного и неоднородного участков ряда.

Устранение неоднородностей, обусловленных изменением типов приборов, обеспечивающих разную точность наблюдений, возможно, если установлены соответствующие поправки на основе совместных наблюдений обоими типами. Так, например, устранение неоднородности, обусловленной заменой дождемера на осадкомер, производится с помощью поправочного множителя K . Он зависит от физико-географического района расположения станции, типа защищенности, вида осадков и средней скорости ветра.

Тип защищенности станции устанавливается на основе описания элементов ближайшего окружения и классификации станций по типу защищенности.

Для определения вида осадков необходимо пользоваться картой (рис. 30) районирования СССР по видам осадков и таблицами, в которых для каждого района приводится продолжительность периодов выпадения твердых и смешанных осадков с точностью до декады.

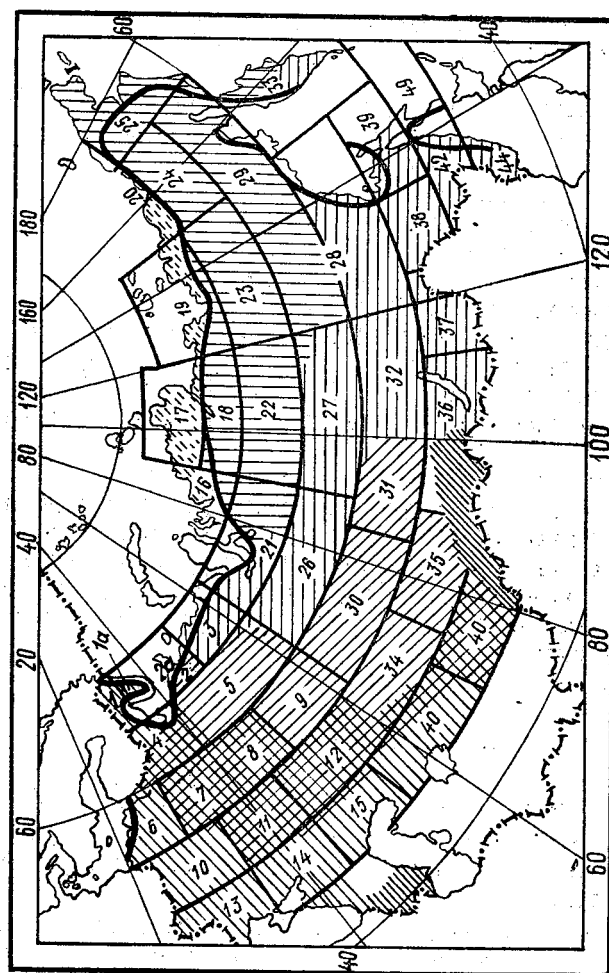


Рис. 30. Районирование СССР по продолжительности однородных видов ссажков

Поправочные коэффициенты для перерасчета твердых осадков (K_T) определяются по таблицам в зависимости от физико-географического района, типа защищенности станции и средней скорости ветра. Поправочный коэффициент для жидких осадков $K_{ж}=1$. Поправочные коэффициенты для смешанных осадков $K_c=(K_T+K_{ж})/2$.

Для тех месяцев, когда в различные декады отмечаются разные виды осадков, необходимо рассчитывать средневзвешенный поправочный коэффициент как средний из коэффициентов каждой декады.

Поправочные коэффициенты позволяют привести данные осадков дождемерных наблюдений к осадкомерным.

Кроме проверки однородности условий наблюдений в некоторых задачах выполняется статистическая оценка исходной информации на однородность. Необходимость такой оценки появляется при объединении наблюдений разных станций в единый ряд.

Статистическая оценка однородности выполняется с помощью статистических критериев. Они могут быть как параметрическими, так и непараметрическими. Параметрические критерии — это такие, которые предполагают подчинение исследуемых статистических совокупностей тому или иному закону распределения. Непараметрические критерии не зависят от вида распределения исходных данных.

Примером использования параметрического критерия Стьюдента может служить задача оценки однородности рядов. В этом случае ряды разностей (или отношений) последовательно разбиваются на две части, содержащие по n и m членов ($n, m=2, 3, \dots, N-2$). Для каждой части ряда вычисляются средние значения разностей и их средние квадратические отклонения и по формуле (4.2.1) вычисляется t :

$$t = \frac{|\bar{y} - \bar{x}|}{\sqrt{n\sigma_x^2 + m\sigma_y^2}} \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}, \quad (4.2.1)$$

где n и m — число членов в каждой части ряда разностей ($N=n+m$); $\bar{x}, \bar{y}$ — средние значения разностей; σ_x, σ_y — средние квадратические отклонения разностей на соответствующем участке ряда разностей.

Из полученного ряда значений t выбирается максимальное значение ($t_{\max}$) и сравнивается с табличным значением критерия t_p при задаваемом уровне значимости (обычно 5%). Если $t_{\max} > t_p$, то в ряду существует неоднородность. При нахождении табличного значения критерия Стьюдента кроме уровня значимости надо знать число степеней свободы $k=n+m-2$ (табл. 4.2.10).

При составлении Научно-прикладного справочника по климату СССР при анализе рядов на однородность применялся критерий Колмогорова. Суть метода состоит в том, что каждому члену ряда

разностей или отношений присваивается свой порядковый номер от 1 до N . Ряд разбивается на равные градации, а их число определяется по соотношению

$$S = \sqrt{N}. \quad (4.2.2)$$

Каждый номер разностей заносится в соответствующую градацию, причем предполагается, что в каждой градации находятся члены 0 и N .

Для каждой градации определяется некоторое критическое значение $d_{кр}$, которое при 5%-ном уровне значимости рассчитывается по формуле

$$d_{кр} = \frac{0,52 N_k}{\sqrt{m_k}}, \quad (4.2.3)$$

где 0,52 — значение критерия согласия Колмогорова при 5%-ном уровне значимости; N_k — последний номер разности, попавший в данную градацию; m_k — повторяемость в данной градации.

Из всех градаций выбираются пары номеров, разность между которыми превышает $d_{кр}$, и располагаются на числовой оси, причем наноска осуществляется разной разметкой. Первый член пары наносится круглой, а второй — квадратной скобкой. Далее последовательно рассматриваются все нанесенные на числовую ось квадратные скобки и выбираются только те из них, перед которыми находится хотя бы одна круглая скобка. Порядковый номер, соответствующий квадратной скобке первой пары, является первым годом нарушения однородности. Следующая по порядку квадратная скобка, имеющая перед собой круглую, показывает второе нарушение однородности и т. д.

Для каждого выявленного участка определяется средняя разность (отношений). Если на соседних участках ряда разности различаются больше чем на $2\sigma_d$, то ряд неоднороден. Изменчивость определяется по формуле

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^s (d_i - \bar{d})^2}{n}}. \quad (4.2.4)$$

Простейшими непараметрическими критериями оценки однородности средних величин являются критерии инверсий, критерии знаков и знако-ранговый критерий.

Критерий инверсий основан на подсчете фактического числа инверсий u и определений, входит ли это значение в доверительный интервал? (Инверсией называется появление значений ряда y перед значениями ряда x в объединенном ранжированном ряду). В однородных рядах, каждый из которых имеет не менее 10 чле-

нов, число инверсий распределено приблизительно по нормальному закону с математическим ожиданием

$$\bar{u} = \frac{n_x n_y}{2} \quad (4.2.5)$$

и дисперсией

$$\sigma_u^2 = \frac{n_x n_y}{12} (n_x + n_y - 1), \quad (4.2.6)$$

где n_x и n_y — число членов в рядах x и y .

Доверительный интервал определяется как

$$\bar{u} \pm \tau_p \sigma_u, \quad (4.2.7)$$

где τ_p — нормированное отклонение при заданном уровне значимости p .

При использовании критерия знаков составляются разности и учитываются только их знаки. Наименьшее число плюсов или минусов m сравнивается с критическими значениями m_p

$$m_p = \frac{n-1}{2} - 0,5 \tau_p \sqrt{n+1}, \quad (4.2.8)$$

где n — число членов сравниваемых рядов; τ_p — нормированное отклонение при уровне значимости p . Если $m > m_p$, то сравниваемые ряды однородны.

При применении знако-рангового критерия кроме знака разности учитывается и ранг разности в ранжированном по возрастанию абсолютных значений ряде разностей. Подсчитываются суммы рангов одного знака и наименьшая сумма T сравнивается с критическим значением T_p , которое при $n \leq 25$ определяется по специальным таблицам, а при $n > 25$ T_p распределено приблизительно по нормальному закону и определяется по формуле

$$T_p = \frac{n(n+1)}{4} - \tau_p \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}. \quad (4.2.9)$$

Если $T < T_p$, то сравниваемые ряды однородны.

При оценке однородности рядов по нескольким станциям может быть использован ранговый критерий Крускал-Уоллиса H ,

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^l R_i^2/n_i - 3(n+1), \quad (4.2.10)$$

где R_i — сумма рангов i -й выборки (станции) в объединенном ранжированном ряду; n_i — число наблюдений i -й выборки; $n = \sum n_i$ — общее число наблюдений в объединенном ряду; l — число выборок (станций).

Если в объединенном ряду имеет место совпадение некоторых значений, то величина H исправляется на число связей C ,

$$C = 1 - \frac{1}{n^2 - n} \sum^S (m_i^2 - m_i), \quad (4.2.11)$$

где m_i — повторяемость одинаковых значений; S — число самих значений;

$$H_{\text{испр}} = H/C. \quad (4.2.12)$$

Если окажется, что рассчитанные значения $H_{\text{испр}}$ меньше критических табличных значений, найденных при определенном уровне значимости, то объединяемые ряды статистически однородны.

При $n > 15$ распределение величины H хорошо аппроксимируется распределением Пирсона χ^2 с $k = l - 1$ степенями свободы и, следовательно, критические значения можно определять по таблицам χ^2 -распределения. При $n < 15$ критические значения находятся по специальным таблицам (табл. 4.2.11).

Выбор методов климатологической обработки исходных рядов зависит не только от характера распределения метеорологической величины. Он также определяется и характером связи между членами ряда. Метеорологические ряды очень часто не являются бессвязными, т. е. не образуют полностью случайной последовательности.

Случайность ряда выражается обычно в том, что отсутствует связь между отдельными частями ряда. Существует целый ряд статистических критериев определения случайности ряда. Обычно рекомендуется пользоваться следующими тремя оценками случайности ряда. Исходный ряд проверяется на наличие любой тенденции к группировке его членов, на наличие устойчивой тенденции изменений значений ряда и на преобладание положительных или отрицательных отклонений от среднего.

Считается, что ряд является случайным, если будет выполняться соотношение

$$\tau_s \leq \tau_p, \quad (4.2.13)$$

где τ_p — табличные значения нормированного отклонения при заданном уровне значимости p ; τ_s — нормированные отклонения числа серий:

$$\tau_s = \frac{|S + 0,5 - M_s|}{\sigma_s}, \quad (4.2.14)$$

где S — фактическое число серий; M_s — теоретическое число серий; σ_s — среднее квадратическое отклонение числа серий.

Для первого критерия

$$M_{S_1} = \frac{n(n+1) - \sum m_i^2}{n}, \quad (4.2.15)$$

$$\sigma_{S_1} = \sqrt{\frac{\sum m_i^2 [\sum m_i^2 + n(n+1)] - 2n \sum m_i^2 - n^3}{n^2(n-1)}}. \quad (4.2.16)$$

Для второго критерия

$$M_{S_2} = \frac{2n-1}{3}, \quad (4.2.17)$$

$$\sigma_{S_2} = \sqrt{\frac{16n-29}{90}}. \quad (4.2.18)$$

Для третьего критерия

$$M_{S_3} = \frac{n-1}{2}, \quad (4.2.19)$$

$$\sigma_{S_3} = \sqrt{\frac{n+1}{2}}. \quad (4.2.20)$$

В формулах (4.2.15—4.2.20) n — число наблюдений в ряду; m_i — повторяемость значений для определенных градаций.

При использовании первого критерия ряд разбивается на четыре градации и в каждой из них подсчитывается число случаев m_i и число серий S_i , причем серией считается последовательность наблюденных значений, не выходящих за пределы градации. Далее находится общее число серий $S = \sum S_i$.

При использовании второго критерия подсчитывается общее число серий, соответствующих подъему и спаду числовых значений. При использовании третьего критерия подсчитывается общее число положительных или отрицательных отклонений от среднего. Наименьшее из этих чисел и будет серией.

Задание 1. Проанализируйте на однородность ряды среднемесячной и годовой температуры воздуха на исследуемой станции В (табл. 4.2.1). Выявленную неоднородность устраните.

Рекомендации к выполнению задания 1

1. Выбрать соседнюю станцию А с однородным рядом наблюдений (табл. 4.1.1) и за совместные годы составить разности $d_i = b_i - a_i$.

2. Проанализировать ряды разностей и выявить наличие скачка в значениях разностей.

3. Если ряды неоднородны, то неоднородность устраняется следующим образом: а) находится средняя разность до перелома $\bar{d}_1$ и после перелома $\bar{d}_2$; б) определяется, какие условия наблюдений

следует считать однородными (обычно в последние годы) и находится, на сколько средняя разность однородного участка ряда отличается от средней разности неоднородного участка ряда, т. е. $\Delta = \bar{d}_{\text{одн}} - \bar{d}_{\text{неодн}}$; в) значение поправки Δ вводится в неоднородные значения ряда станции B .

4. Работу выполнить по схеме

Годы	Температура на станции B	Температура на станции A	Разность температур, d_i	Исправленные значения на станции B
1				
2				
...				
...				

Задание 2. Проанализируйте на однородность ряды осадков на исследуемой станции B (табл. 4.2.2).

Рекомендации к выполнению задания 2

1. Выбрать соседнюю станцию A (табл. 4.2.3) и на поле графика нанести точки по значениям осадков на станциях A и B за совместные годы наблюдений. У каждой точки подписывается соответствующий год наблюдений. Графики строятся по суммам осадков холодного и теплого периодов года.

2. Проанализировать точки, нанесенные на графике. Если обнаруживается тенденция группировки точек начиная с какого-то года в другой части графика по сравнению с предыдущими годами, то это указывает на неоднородность наблюдений на станции B .

3. Для устранения неоднородности, не связанной с заменой дождемера на осадкомер необходимо:

а) через каждую группу точек провести линию корреляционной зависимости и определить тангенсы углов наклонов. Это и будут средние отношения осадков на станциях B и A при различных условиях наблюдений;

б) найти поправку путем деления среднего отношения однородного участка ряда на среднее отношение неоднородного участка;

в) каждое значение неоднородного участка ряда B умножить на поправку.

Задание 3. Устранить неоднородность, обусловленную заменой дождемера на осадкомер на данной станции и получить многолетние суммы осадков за каждый месяц по осадкомеру (табл. 4.2.3).

Описание расположения станции Ленинград, ГМО

Метеорологическая площадка находится в западной части Аптекарского острова, в 126 м от набережной р. Малая Нева. В 60—80 м к северо-западу от площадки находятся 2—3-этажные жилые дома. На расстоянии 40 м к востоку проходит улица, обсаженная деревьями высотой до 18 м. В юго-восточном направлении на расстоянии 150 м находится 5-этажный дом. В 10—20 м к югу расположены склады высотой до 6 м, за ними на расстоянии 150 м располагаются дровяные склады до 7 м высотой, за которыми в юго-западном направлении в 200 м от площадки находится 5-этажное здание.

Дождемер снят в январе 1953 г.

Рекомендации к выполнению задания 3

1. Для данной станции определить тип ее защищенности по физико-географическому описанию станции и таблице классификации станций по типу защищенности (табл. 4.2.4, 4.2.5).

2. За каждый месяц определить среднюю скорость ветра.

3. Определить вид осадков в каждой декаде каждого месяца. Для этого по карте (рис. 30), по координатам станции найти, в каком районе располагается станция. По номеру района и таблицам по продолжительности периодов с твердыми и смешанными осадками (табл. 4.2.6, 4.2.7) найти их длительность.

4. Определить для каждого месяца поправочные множители K (табл. 4.2.8). Для твердых осадков они находятся в зависимости от района расположения станции, типа защищенности станции и средней скорости ветра. Для жидких осадков он равен единице; для смешанных осадков определяется как средний между ними. Если в течение месяца наблюдались разнородные осадки, то определяется средневзвешенный поправочный коэффициент.

5. Подсчитать суммы осадков за периоды дождемерных и осадкомерных наблюдений.

6. Пересчитать суммы осадков, измеренные по дождемеру путем умножения их на поправочные множители.

7. Многолетние суммы осадков по осадкомеру получаются путем деления объединенных сумм осадков за наблюдаемый и пересчитанный периоды на общее число лет наблюдений.

Задание 4. Дать оценку однородности ряда средних месячных температур воздуха на исследуемой станции B (табл. 4.2.1), используя критерий Колмогорова.

Рекомендации к выполнению задания 4

1. Подобрать соседнюю станцию с однородным рядом наблюдений (табл. 4.1.1) и составить ряд разностей между данными анализируемой и однородной станциями.

2. Пронумеровать каждый член ряда от 1 до N .

3. Разбить ряд разностей на равные градации с учетом того, что их число определяется по формуле (4.2.2) и занести каждый номер разностей в соответствующую градацию. При этом предполагается, что в каждой градации находятся члены 0 и N .

4. Определить по формуле (4.2.3) критические значения $d_{кр}$ в каждой градации.

5. Из каждой градации выбрать пары номеров, разность между которыми превышает $d_{кр}$.

6. Нанести на числовую ось эти пары разностей, причем первое значение наносят круглой, а второе — квадратной скобкой.

7. Наметить те годы, которые нанесены квадратными скобками, а перед ними есть хотя бы одна круглая. Эти годы и будут определять моменты нарушения однородности.

8. Вычислить σ_d по формуле (4.2.4).

9. Если на соседних участках ряда разности различаются больше, чем на $2\sigma_d$, то в эти годы происходило нарушение однородности ряда.

✓ **Задание 5.** Используя критерий Стьюдента t , оценить однородность ряда средних месячных температур воздуха на станции В (табл. 4.2.1).

Рекомендации к выполнению задания 5

1. Подобрать соседнюю станцию с однородным рядом (табл. 4.1.1) и составить ряд разностей между данными анализируемой и однородной станций.

2. Ряд разностей последовательно разбивается на две части объемом по n и m членов ($n, m=2, 3, 4, \dots$) и для каждой части определяется свое среднее квадратическое отклонение и рассчитывается критерий Стьюдента по формуле (4.2.1).

3. Из полученного ряда значений t выбираются наибольшие значения $t_{\max}$ и сравниваются с табличными t_p значениями при определенном уровне значимости $p\%$ и числе степеней свободы $k=n+m-2$ (табл. 4.2.10).

4. Если окажется, что $t_{\max} > t_p$, то средние значения разностей на двух участках ряда существенно различаются между собой и, следовательно, ряд температур на исследуемой станции неоднороден.

Задание 6. Выполните оценку статистической однородности рядов максимальных годовых скоростей ветра на станциях Юрьевка и Тюс-Ашу (табл. 4.2.9). Оценку статистической однородности провести с помощью критерия знаков m , знако-рангового критерия T и критерия инверсий u .

Рекомендации к выполнению задания 6

1. При использовании критерия знаков составить разности значений скорости ветра на ст. Юрьевка и Тюс-Ашу за одни и те же моменты времени.

Подсчитать число разностей со знаком плюс и отдельно со знаком минус. Меньшее из этих чисел и есть m .

Критические значения m_p находятся по формуле (4.2.8). Если $m > m_p$, то ряды статистически однородны.

2. При использовании знако-рангового критерия T вычислить разности значений на станциях и расположить в порядке возрастания их абсолютных значений. Для каждого значения разностей определите его ранг (нули не учитываются). Если значения разностей повторяются несколько раз, то каждому из них присваивается средний ранг. Ранжированным разностям возвращается их знак. Подсчитываются суммы рангов с разными знаками. Меньшее значение из вычисленных сумм и есть T .

Поскольку число разностей $n < 25$, то для нахождения критических значений T_p следует пользоваться таблицей (4.2.14).

В число пар входят и нулевые разности. Если $T < T_p$, то ряды статистически однородны.

3. При использовании критерия инверсий наблюдения на станциях ранжируются в единый ряд. Значения, относящиеся к другому ряду, следует помещать в скобках. Определяется общее число инверсий u , т. е. определяется, сколько раз данные другого ряда предшествовали данным основного ряда. По формуле (4.2.5) находится среднее число инверсий, а по формуле (4.2.6) его дисперсия. По формуле (4.2.7) определяется доверительный интервал при заданном (5%-ном) уровне значимости. Если значение u входит в доверительный интервал, то сравниваемые ряды статистически однородны.

Задание 7. Оценить с помощью критерия Крускала — Уоллиса, являются ли статистически однородными ряды максимальных годовых скоростей ветра на станциях Юрьевка, Ак-Тек, Тюс-Ашу (табл. 4.2.9).

Рекомендации к выполнению задания 7

1. Для каждого члена ряда определенной станции найти его ранг в объединенном по всем станциям ряду в порядке возрастания значений скорости ветра. Для этого можно составить таблицу повторяемостей скоростей ветра вида:

v м/с	12	14	15	16	17	18	19	20	21	24
m_i										
Ранг										

Если имеется несколько значений данной скорости ветра, то каждому из них присваивается средний ранг. Например, при $v=12$ м/с наблюдалось 10 случаев, а при $v=14$ м/с 5 случаев. Тогда средний ранг для $v=12$ м/с будет равен 5,5, а для $v=14$ м/с — 13.

2. Составить для каждой станции таблицы значений рангов и найти их суммы R_i .

3. Вычислить критерий H по формуле (4.2.10).

4. Определить поправку на совпадения значений по формуле (4.2.11).

5. Найти исправленные значения критерия $H_{\text{испр}}$ по формуле (4.2.12).

6. Определить число степеней свободы k (число станций без единицы).

7. Найти табличные значения критерия при заданном уровне значимости (в данном примере пользуются таблицами χ^2 критерия распределения, так как $n > 15$, табл. 4.1.4).

8. Если $H_{\text{испр}} \leq \chi^2$, то ряды статистически однородны.

✓ **Задание 8.** Проверить исходный ряд на случайность с помощью соответствующих критериев (табл. 4.1.1 или 4.1.2).

Рекомендации к выполнению задания 8

1. Проверить ряд на наличие любой тенденции к группировке. Для этого необходимо:

а) разбить исходный ряд на четыре градации и подсчитать повторяемости значений в каждой градации;

б) подсчитать число серий в каждой градации, причем за серию принимаются соседние значения, относящиеся к одной градации;

в) подсчитать общее число серий S ;

г) найти M_{S_i} и σ_{S_i} по формулам (4.2.15) и (4.2.16);

д) определить τ_s по формуле (4.2.14) и сравнить с табличным значением τ_p при заданном уровне значимости. Если $\tau_s \leq \tau_p$, то ряд случаен.

2. Проверить ряд на наличие устойчивой тенденции изменений значений ряда:

а) определить серии и их общее число. Серией считаются значения, характеризующие подъем или спад величины;

б) подсчитать общее число серий S ;

в) найти M_{S_i} и σ_{S_i} по формулам (4.2.17) и (4.2.18).

г) определить τ_s по формуле (4.2.14) и сравнить с табличным значением τ_p при заданном уровне значимости. Если $\tau_s \leq \tau_p$, то ряд случаен.

3. Проверить ряд на преобладание положительных или отрицательных отклонений:

а) найти разности между фактическими значениями и отклонениями от нормы;

б) подсчитать число положительных и отрицательных отклонений. Меньшее из этих чисел является серией;

в) найти M_{S_s} и σ_{S_s} по формулам (4.2.19 и 4.2.20).

г) определить τ_s по формуле (4.2.14) и сравнить с табличным значением τ_p при заданном уровне значимости. Если $\tau_s \leq \tau_p$, то ряд случаен.

Вопросы для самопроверки

1. Какой ряд считается климатологически однородным? Какие причины могут нарушить однородность условий наблюдений?

2. Какие методы проверки климатологической однородности рядов известны и на чем они основаны?

3. В каких случаях и как используется при анализе однородности рядов метод разностей? Как устраняется неоднородность этим методом? Какие участки ряда принято считать однородными? Какие ряды анализируются на однородность методом разностей?

4. В каких случаях и как используется при анализе однородности рядов метод отношений? Как устраняется неоднородность этим методом? Какие ряды анализируются на однородность методом отношений?

5. В чем состоит сущность автоматизированной проверки однородности рядов?

6. Как устраняется неоднородность, обусловленная изменением сроков наблюдений?

7. Какой ряд считается статистически однородным и как возникает статистическая неоднородность в метеорологических рядах? Когда ряды проверяются на статистическую неоднородность?

8. Чем различается использование параметрических и непараметрических критериев проверки статистической однородности рядов? Относительно каких показателей используются статистические критерии?

9. В чем сущность использования критериев Стьюдента t и z ?

10. В чем сущность критерия знаков, знако-рангового критерия, критерия инверсии?

11. В чем сущность критерия Крускала-Уоллиса?

12. В чем сущность критерия Фишера и критерия Романовского?

13. Какой ряд следует считать случайным и какие критерии оценки случайности используются? Как ими пользоваться? Как определять число серий для каждого критерия случайности?

Таблица 4.2.1

Средняя месячная температура воздуха, ст. Шаповский с/х техникум

Годы	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1906	—	—7,8	—2,5	6,9	16,7	16,8	18,7	15,0	7,9	3,9	—0,8	—7,4
1907	—15,3	—10,7	—4,5	2,9	10,1	15,4	17,6	14,5	9,7	5,3	—7,0	—14,3
1908	—11,4	—8,3	—7,4	2,6	8,9	14,5	17,1	15,0	10,5	2,2	—7,8	—9,9
1909	—10,3	—11,0	—6,4	1,7	8,3	15,1	16,2	15,8	13,9	6,7	—2,9	—4,0
1910	—7,7	—6,4	—2,3	7,0	12,7	16,3	18,4	14,2	10,0	1,7	—1,7	—3,1
1911	—11,6	—14,1	—5,9	4,9	12,5	15,0	15,4	16,5	9,3	3,5	0,5	—6,7
1912	—16,4	—13,4	—0,1	2,1	8,7	18,4	15,0	16,4	10,2	—0,1	—2,1	—3,4
1913	—9,9	—9,8	—1,7	8,9	8,8	14,1	17,5	18,0	11,1	2,4	1,8	—5,2
1914	—	—1,1	—2,1	2,8	13,3	16,6	19,7	13,2	8,9	0,9	—5,5	—4,8
1915	—6,9	—7,2	—8,1	2,9	9,8	13,2	17,7	13,1	10,1	1,5	—2,6	—10,0
1916	—6,4	—5,7	—6,0	4,8	8,9	14,1	16,4	13,1	7,6	3,2	—1,9	—8,4
1917	—12,3	—18,5	—10,9	5,2	6,9	18,5	17,0	17,5	10,6	5,8	0,2	—8,3
1918	—7,2	—7,0	—6,7	4,6	5,6	13,9	16,8	13,3	10,3	7,1	—	—
1919	—	—10,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1920	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1921	—	—	—	9,9	15,3	16,4	15,0	15,8	8,8	2,9	—5,7	—9,7
1922	—10,9	—8,8	—4,0	4,6	11,9	14,7	17,5	15,3	9,3	2,0	—1,2	—6,7
1923	—7,9	—14,0	—5,2	0,3	12,0	14,3	15,0	12,9	11,8	6,7	2,5	—7,4
1924	—14,2	—12,3	—6,6	3,0	12,6	17,0	15,5	16,0	12,9	3,9	—1,9	—8,1
1925	—3,8	—2,7	—2,6	6,5	13,0	13,7	18,3	16,0	10,1	2,0	—2,8	—7,1
1926	—12,7	—10,8	—6,0	1,1	12,5	16,1	16,2	12,5	10,1	2,3	2,0	—10,2
1927	—14,8	—9,2	—4,0	3,0	9,1	15,6	17,7	17,7	11,5	3,5	—2,6	—11,9
1928	—8,2	—13,4	—7,7	0,9	11,3	11,3	15,6	14,0	10,7	4,0	2,1	—7,7
1929	—11,8	—19,7	—7,9	1,9	14,6	13,0	17,7	18,0	9,0	7,5	0,2	—6,5
1930	—5,3	—12,1	—1,3	5,8	11,8	12,3	16,4	18,0	9,4	5,3	—3,3	—7,4
1931	—11,8	—16,1	—6,3	—	—	14,5	—	16,0	—	—	—	—
1932	—4,5	—15,3	—8,3	3,7	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 4.2.2

Количество осадков (мм), ст. Кингисепп

Годы	Месяцы												Холодный период	Теплый период	Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
1936	34	27	22	24	26	60	112	44	52	90	36	33	408	152	560
1937	22	31	50	14	60	75	143	104	93	23	58	23	396	184	696
1938	19	14	41	44	87	87	108	77	19	99	33	29	461	136	597
1939	45	35	6	39	21	59	41	9	29	51	65	24	269	175	444
1940	18	27	16	20	7	21	42	107	116	47	74	28	360	163	523
1941	30	24	17	12	24	53	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1944	—	—	17	35	39	95	44	38	67	24	52	25	372	—	—
1945	19	22	24	31	27	45	49	108	87	49	14	29	396	108	504
1946	12	27	30	41	172	172	83	55	105	17	29	15	535	113	648
1947	9	13	39	78	52	55	75	54	39	42	55	37	358	153	511
1948	48	17	14	54	44	56	60	168	77	88	56	27	547	162	709
1949	36	23	21	33	138	109	50	118	15	64	34	67	451	181	632
1950	12	37	18	49	29	67	91	25	110	39	76	48	410	191	601
1951	42	26	38	56	41	105	105	43	19	20	96	59	316	261	577
1952	52	54	22	47	29	29	81	122	133	88	38	67	544	233	777
1953	19	32	85	16	44	130	112	140	73	44	46	23	557	165	722
1954	35	7	35	12	62	76	100	99	55	93	60	59	444	196	640
1955	71	17	23	30	39	12	38	26	47	63	37	67	305	245	550
1956	52	22	11	64	18	101	76	85	21	81	63	41	441	189	630
1957	49	68	34	37	18	35	134	133	91	52	16	43	525	210	735
1958	45	49	26	13	38	54	81	93	34	64	33	38	427	191	618
1959	82	40	12	47	35	76	54	88	77	36	34	23	413	191	604
1960	51	30	18	33	36	38	118	82	27	52	45	58	421	202	623
1961	39	35	76	52	46	116	85	141	51	16	35	55	506	240	746
1962	35	30	31	26	68	81	75	107	120	40	59	34	522	189	711
1963	22	20	20	19	36	40	43	54	70	92	58	42	344	162	506
1964	32	21	7	26	49	27	29	27	62	48	43	40	268	143	411
1965	38	30	47	16	23	45	113	61	49	58	45	55	353	215	570

Таблица 4.2.3

Количество осадков (мм), ст. Ленинград

Годы	Месяцы												Холодный период	Теплый период	Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
1891	20	18	32	8	51	23	62	77	49	22	18	40	136	284	420
1892	20	22	9	48	45	146	39	125	42	51	26	41	166	448	614
1893	23	32	23	13	12	77	87	90	123	52	35	34	160	441	601
1894	30	21	18	16	88	64	119	109	65	22	68	19	172	467	639
1895	37	21	17	27	29	54	76	54	57	69	29	20	180	310	490
1896	24	22	25	29	20	35	26	106	94	49	35	34	160	339	499
1897	23	19	18	29	19	63	104	83	58	33	32	42	163	360	523
1898	26	21	31	29	42	70	40	30	75	60	53	67	227	317	544
1899	63	26	25	38	43	81	19	64	72	70	42	31	225	349	574
1900	36	59	9	31	16	36	65	57	69	78	15	51	201	321	522
1901	22	33	19	57	23	41	31	59	11	18	47	42	284	119	403
1902	47	23	53	13	25	68	47	143	39	48	30	35	201	370	571
1903	39	42	16	38	96	84	53	109	27	68	35	18	188	437	625
1904	14	38	5	27	66	57	52	143	22	32	34	61	179	372	551
1905	32	21	24	40	40	31	57	70	47	76	34	28	179	321	500
1906	27	18	48	30	46	78	105	82	40	37	68	30	221	388	609
1907	15	12	4	53	62	51	62	103	46	23	15	11	90	347	437

Продолжение табл. 4.2.3

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холодный период	Теплый период	Год
1908	24	27	3	25	45	79	43	83	71	63	38	27	164	364	528
1909	4	21	27	22	20	29	76	56	54	56	41	44	159	291	450
1910	47	18	22	24	30	30	52	68	42	41	35	43	189	263	452
1911	20	45	26	45	45	59	60	79	59	42	54	25	215	344	559
1912	27	16	43	27	37	65	8	31	178	32	37	44	194	351	545
1913	7	34	44	50	44	54	28	55	34	54	47	33	215	269	484
1914	33	36	46	31	47	51	42	36	47	26	23	48	217	249	466
1915	42	37	36	17	39	75	30	32	75	31	43	47	222	282	504
1916	30	30	28	9	88	102	45	154	41	81	41	28	166	511	677
1917	27	27	21	40	25	11	51	32	100	60	36	49	200	279	479
1918	67	37	5	43	33	47	55	60	136	45	21	34	207	376	583
1919	10	51	13	33	11	86	5	97	54	48	20	32	159	301	460
1920	14	18	19	69	19	47	59	44	57	16	25	10	155	242	397
1921	50	26	43	38	61	82	118	56	52	62	34	40	191	431	622
1922	26	25	25	62	73	108	87	87	58	55	48	39	225	468	693
1923	23	15	1	19	115	68	23	82	43	66	101	33	192	397	589
1924	45	44	62	41	100	72	39	64	76	27	18	27	237	378	615
1925	28	42	35	51	29	94	43	92	78	80	73	33	262	416	678
1926	17	27	29	48	102	58	25	41	50	64	61	19	201	340	541

Продолжение табл. 4.2.3

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холодный период	Теплый период	Год
1927	22	20	47	42	86	75	23	101	96	52	49	25	205	433	638
1928	21	28	9	16	37	75	119	144	113	45	61	20	155	533	688
1929	27	12	29	18	53	29	75	88	48	76	50	29	165	369	534
1930	30	16	44	39	31	51	56	157	46	26	40	17	186	367	553
1931	53	22	35	23	3	103	66	99	72	52	29	48	210	395	605
1932	29	21	28	14	63	69	24	50	72	70	20	39	214	285	499
1933	20	36	26	30	11	46	87	203	59	39	29	20	161	445	606
1934	21	19	21	26	93	51	82	41	20	85	86	10	344	211	555
1935	32	43	23	41	72	86	78	156	136	67	9	38	186	595	781
1936	48	44	11	33	46	13	106	41	35	69	25	34	152,240	260	500
1937	16	40	64	11	50	30	111	53	64	12	54	50	184,235	320	555
1938	31	10	27	40	44	107	39	40	35	75	36	44	135,227	300	527
1939	59	36	5	54	28	42	58	8	12	32	63	23	175,240	175	415
1940	20	25	23	15	36	29	79	88	102	35	80	20	162,181	369	550
1941	28	35	25	9	28	51	21	86	43	30	14	36	164	235	399
1942	23	7	13	22	25	28	70	68	55	68	36	48	200	264	464
1943	23	39	7	47	67	44	88	98	31	76	26	14	158	404	562
1944	41	23	13	39	40	49	16	29	71	21	46	16	177	226	403

Продолжение табл. 4.2.3

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холодный период	Теплый период	Год
1945	25	40	41	(44)	32	49	66	87	106	54	15	50	108 275	364	639
1946	18	35	27	(40)	41	90	56	33	55	36	33	30	115 183	311	494
1947	18	17	39	(61)	30	70	122	121	35	21	81	40	153 305	351	656
1948	66	18	11	(67)	28	53	24	131	56	76	53	27	162 240	368	608
1949	25	18	12	(13)	24	75	34	98	40	49	29	58	131 155	320	475
1950	11	46	26	(45)	40	47	42	21	71	34	80	39	191 248	255	503
1951	33	40	36	(30)	22	63	113	60	27	14	69	44	261 251	299	550
1952	32	44	23	(36)	36	36	51	59	144	94	30	56	232 250	410	660
1953	5	42	34	(16)	58	34	85	110	82	54	43	31	165 236	374	610
1954	31	10	34	(24)	18	60	154	66	64	66	56	54	192 208	423	631
1955	66	30	35	(35)	50	17	47	1	39	65	90	44	203 301	219	520
1956	33	26	15	(53)	16	25	67	96	12	62	55	27	182 209	278	487
1957	54	59	30	(50)	31	58	43	96	84	67	29	52	210 277	409	686
1958	41	43	35	(14)	81	104	82	93	36	65	30	36	191 298	469	658
1959	77	36	11	(65)	32	51	43	113	61	54	29	23	191 243	354	597
1960	60	27	36	(26)	38	51	70	74	37	67	40	37	202 226	335	561
1961	40	38	54	(20)	37	59	83	106	41	11	34	93	212 279	337	616
1962	35	25	32	(36)	38	102	68	102	85	43	50	20	189 197	438	635

Окончание табл. 4.2.3

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холодный период	Теплый период	Год
1963	27	30	21	9	23	18	46	119	16	110	52	22	162	342	503
1964	29	30	30	9	34	70	41	46	63	44	50	30	143	298	469
1965	40	32	43	6	35	31	82	71	27	50	43	66	215	296	526
1966	56	40	60	34	41	55	115	72	97	83	39	48	378	413	791
1967	37	32	31	28	61	75	23	92	24	139	40	62	230	414	644
1968	32	22	30	57	53	36	79	49	90	106	49	35	225	413	638
1969	25	29	21	44	67	16	118	75	106	31	48	38	205	413	618
1970	29	31	20	64	17	25	126	100	90	58	58	42	243	416	659
1971	42	43	83	25	10	44	40	80	30	58	61	39	293	268	555
1972	6	14	15	56	31	16	59	59	30	63	59	20	170	258	428
1973	14	33	44	32	52	126	6	75	82	90	52	43	218	431	649
1974	27	28	13	21	22	115	116	103	39	93	91	63	242	488	730
1975	45	18	23	66	49	70	68	50	35	54	63	82	297	326	623
1976	47	17	51	45	14	81	88	55	72	18	61	49	266	328	594
1977	21	45	50	65	52	46	105	29	72	85	56	43	281	389	670
1978	36	25	52	31	2	36	68	59	93	43	58	28	230	301	531
1979	44	35	12	10	43	34	166	64	10	28	93	28	222	445	667
1980	39	41	13	18	32	70	69	90	24	94	89	97	299	379	678

Таблица 4.2.4

Средняя скорость ветра (м/с), ст. Ленинград

Скорость ветра, м/с	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>v</i>	3,4	3,1	3,0	2,9	2,8	2,9	2,6	2,4	2,7	3,2	3,3	3,4

Таблица 4.2.5

Классификация станций (постов) по типу защищенности

Тип	Местоположение прибора
Ia	На площадке, окруженной сплошной непродуваемой защитой (забор), на лесной поляне с густой растительностью, в горной котловине
Iб	На площадке, окруженной со всех сторон ажурной полосой растительности или строениями
IIa	На полузащищенной площадке, в городе, селе, закрытой строениями или растительностью с одной, двух или трех сторон горизонта
IIб	На окраине населенного пункта, на полузащищенной площадке с препятствиями, имеющими разрывы (отдельные крупные строения или группы деревьев), в узкой долине (тип «трубы»)
III	На открытой площадке, расположенной на равнине, плоскогорье, обширной широкой долине. В окружении могут быть отдельные небольшие строения или деревья
IV	На открытом берегу моря, залива, в устье большой реки, на острове, на вершине горы

Период с твердыми осадками

Таблица 4.2.6

№ района	Начало периода			Конец периода		
	месяц	декада	темпера- тура	месяц	декада	темпера- тура
1	XI	2	-5,8	IV	2	-4,8
1a	XII	1	-5,8	III	3	-4,8
2	XI	1	-5,6	IV	2	-4,8
2a	XI	3	-5,6	IV	3	-4,8
3	X	3	-5,5	V	1	-4,0
4	XII	2	-6,6	III	3	-6,5
5	XI	3	-6,6	III	3	-5,6
6	XII	3	-6,2	II	3	-6,6
7	XII	1	-6,4	III	2	-6,4
8	XI	3	-6,4	III	2	-6,1
9	XI	2	-7,0	III	2	-6,4
10	XII	3	-6,0	II	3	-6,4
11	XII	1	-6,0	III	2	-6,4
12	XI	3	-6,6	III	2	-6,4
13	I	2	-5,0	II	2	-6,0
14	I	1	-5,0	II	3	-6,2
15	XII	2	-5,0	III	1	-5,8
16	X	1	-4,0	V	2	-2,0
17	IX	2	-2,4	VI	2	-3,0
18	X	2	-4,6	VI	1	-4,4
19	IX	3	-4,2	V	3	-5,8
20	XI	1	-4,4	V	3	-4,4
21	X	2	-6,6	V	1	-6,8
22	X	1	-6,6	V	2	-7,0
23	X	1	-6,3	V	2	-5,9
24	X	1	-5,6	V	3	-5,4
25	X	1	-5,0	V	3	-4,4
26	X	3	-7,0	IV	2	-7,2
27	X	3	-7,0	IV	2	-7,1
28	X	2	-6,8	IV	3	-6,6
29	X	1	-6,0	V	3	-6,0
30	XI	1	-7,4	IV	1	-6,6
31	XI	2	-7,4	IV	1	-6,6
32	X	3	-5,6	IV	2	-5,4
33	XI	1	-4,8	IV	3	-4,0
34	XI	3	-6,4	III	3	-6,6
35	XI	2	-7,6	IV	1	-7,0
36	X	3	-5,5	IV	2	-6,0
37	X	2	-6,0	IV	2	-6,0
38	X	3	-6,2	IV	2	-6,0
39	XI	1	-5,0	IV	2	-5,2
40	XII	2	-6,4	III	2	-6,8
41	XI	3	-6,0	III	3	-6,4
42	XI	1	-6,0	IV	2	-5,6
43	XI	1	-4,4	IV	1	-3,0
44	XII	3	-6,0	III	3	-5,0

Таблица 4.2.7

Декады с преобладанием смешанных осадков

№ района	Осень	Весна
1	X(2, 3), XI(1)	IV(2)
1a	X(3), XI(1—3)	IV(2, 3)
2	X(2, 3)	IV(3), V(1)
2a	X(3), XI(1, 2)	V(1, 2)
3	X(2)	IV(3), V(1, 2)
4	X(1—3), XII(1)	IV(1—3)
5	X(2, 3), XI(1, 2)	IV(1, 2)
6	XI(3), XII(1, 2)	III(1—3)
7	XI(1—3)	III(3), IV(1)
8	X(3), XI(1, 2)	III(2, 3)
9	XI(3), XII(1, 2)	III(3)
10	XI(3), XII(1, 2)	III(1)
11	XI(2, 3)	III(3), VI(1)
12	XI(2)	III(3)
13	XII(1—3), I(1)	II(3), III(1)
14	XII(1—3)	III(1, 2)
15	XI(2, 3), XII(1)	III(2, 3)
16	IX(1—3)	V(3)
17	VIII(3), IX(1)	VI(3)
18	X(1)	VI(2)
19	IX(2)	VI(1, 2)
20	IX(3)	VI(1)
21	X(1)	V(2, 3)
22	IX(3)	V(3)
23	IX(2, 3)	VI(1)
24	IX(3)	VI(1)
25	IX(3)	VI(1)
26	X(2)	IV(3), V(1, 2)
27	X(1, 2)	IV(3), V(1, 2)
28	X(1)	V(1, 2)
29	IX(3)	V(3)
30	X(2, 3)	IV(2)
31	X(2, 3), XI(1)	IV(2, 3)
32	IX(1—3), X(1, 2)	IV(3), V(1)
33	X(2, 3)	V(1, 2)
34	X(3), XI(1, 2)	IV(1, 2)
35	X(3), XI(1, 2)	IV(2)
36	X(1, 2)	IV(3)
37	X(1)	IV(3)
38	X(2)	IV(3)
39	X(3)	IV(3), V(1)
40	XI(2, 3)	III(3)
41	XI(1, 2)	IV(1)
42	X(3)	IV(3)
43	X(3)	IV(2)
44	XI(2, 3), XII(1, 2)	IV(1)

Примечание. Римские цифры — месяцы, арабские — декады.

Таблица 4.2.8

Поправочные коэффициенты для пересчета твердых осадков,
измеренных по дождемеру для Белорусской ССР и северо-запада ЕТС

Тип защи- щенности станции	Средние месячные скорости ветра, м/с													
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	
Ia	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,05	1,07	1,10	1,15			
Iб	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,10	1,15	1,18	1,20	1,22	1,23	1,25	
IIa	1,08	1,09	1,11	1,13	1,14	1,16	1,18	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	
IIб	1,10	1,11	1,13	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,22	1,24	1,26	1,28	1,30	
III	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,22	1,24	1,25	1,27	1,28	1,30	
IV	1,14	1,15	1,17	1,20	1,23	1,26	1,28	1,32	1,36	1,41	1,45	1,50	1,55	

Таблица 4.2.9

Годовые максимумы скоростей ветра, м/с

Станция	Высота над уровнем моря, м	Годы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Юрьевка	1000	14	17	17	17	19	16	20	20	18	24	16	14
Ак-Тек	2100	17	19	19	16	12	12	18	12	12	20	14	14
Тюс-Ашу	3200	18	20	14	14	14	12	14	19	12	14	12	

Таблица 4.2.10

Значения критерия Стьюдента при 5%-ном уровне значимости

Число степеней свободы, k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	12,71	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,23	2,20
Число степеней свободы, k	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	2,18	2,16	2,14	2,13	2,12	2,11	2,10	2,09	2,09	2,08	2,07
Число степеней свободы, k	23	24	25	26	27	28	29	30	40	60	120
	2,07	2,06	2,06	2,06	2,05	2,05	2,05	2,04	2,02	2,00	1,98

Таблица 4.2.11

Значения критерия T при 5%-ном уровне значимости

Число пар	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T_p	0	2	4	6	8	11	14	17	21	25	30	35	40	46	52

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Цель работы — научиться использовать косвенные методы для расчетов климатических показателей.

Литература

1. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. — Л.: Гидрометеониздат, 1978.
2. Кобышева Н. В., Костин С. И., Струнников Э. А. Климатология. — Л.: Гидрометеониздат, 1980.
3. Кобышева Н. В. Косвенные расчеты климатических характеристик. — Л.: Гидрометеониздат, 1971.
4. Каган Р. Л., Федорченко Е. И. О расчете статистических характеристик выбросов случайной функции. — Тр. ГГО, 1970, вып. 268, с. 148—171.

Косвенными считаются такие методы, которые обеспечивают расчет климатических показателей без обращения к исходному материалу. В основе косвенных методов лежит использование пространственно-временных закономерностей распределения метеорологических величин и наличие взаимосвязи между ними.

Примером косвенного расчета среднего многолетнего значения на короткорядной станции является задача приведения короткого ряда к длинному периоду.

Для приведения данных короткого ряда к длинному периоду используется метод разностей или метод отношений.

Приведение методом разности выполняется по формуле

$$\bar{B}'_N = \bar{A}_N + \bar{D}_n, \quad (4.3.1)$$

где $\bar{B}'_N$ — приведенное (к длинному периоду) среднее многолетнее значение величины на короткорядной станции; $\bar{A}_N$ — среднее многолетнее значение величины на длиннорядной станции; $\bar{D}_n$ — средняя разность между значениями величин на короткорядной и длиннорядной станциях, вычисленная за короткий ряд совместных наблюдений.

Методом разностей приводятся ряды многих метеорологических величин (давления, температуры и влажности воздуха, облачности, продолжительности часов солнечного сияния).

Приведение методом отношений выполняется по формуле

$$\bar{B}'_N = \bar{A}_N \frac{\bar{B}_n}{\bar{A}_n}, \quad (4.3.2)$$

где $\bar{B}_n$ и $\bar{A}_n$ — средние значения метеорологических величин за короткий период (n) совместных наблюдений. На практике приведение методом отношений осуществляется с помощью корреля-

ционных графиков. На график наносятся точки по ежегодным значениям величины на станциях B и A и через них проводится линия зависимости.

По значению $\bar{A}_N$ с графика снимается $\bar{B}'_N$. Методом отношений приводятся короткие ряды осадков, снежного покрова и число дней с различными явлениями погоды.

Каждое приведение должно оканчиваться оценкой целесообразности приведения данной короткорядной станции к данной длиннорядной. В методе разностей приведение считается целесообразным, если изменчивость разностей σ_d меньше изменчивости самой величины σ_b , т. е. $\sigma_d < \sigma_b$ или $v_d < v_b$. При приведении методом отношения в форме корреляционных графиков о целесообразности приведения судят по соотношениям осей эллипса, охватывающего точки на графике. Если большая ось эллипса больше малой в два раза, то коэффициент корреляции более 0,7 и приведение целесообразно.

2. Примером косвенного способа получения многолетних значений некоторых характеристик термического режима является использование графика годового хода средних месячных температур. По горизонтальной оси графика откладываются дни года в масштабе 1 мм — 1 день, по вертикальной оси — средние многолетние значения месячных температур в масштабе 1 мм — 0,1°С. Строятся прямоугольники, основаниями которых является число дней в месяце, а высотой — средняя месячная температура. Через построенные прямоугольники проводится плавная кривая, так чтобы она отсекала от каждого столбца графика площадь, равную площади, прирезаемой к этому же столбцу кривой.

✓ С помощью гистограммы определяются средние многолетние значения температуры воздуха за отдельные дни, пентады и декады (к середине периода), даты перехода средней суточной температуры через определенные значения, число дней с указанной температурой, а также суммы температур выше или ниже заданных значений.

В последнее время нашел широкое применение метод номограмм, предложенный А. Н. Лебедевым. Он позволяет по среднему значению метеовеличин получать значения определенной обеспеченности и вероятности. Это очень важно, потому что на короткорядных станциях эти показатели могут быть получены с большой ошибкой, а метод номограмм обеспечивает более высокую точность.

Для построения номограммы привлекаются данные тех длиннорядных станций определенного физико-географического района, на которых отмечается однотипный характер интегральных кривых распределения. Основой для построения номограммы служат средние многолетние значения и значения определенных обеспеченностей (5, 10, 20, 90, 95%). По оси абсцисс принято откладывать вероятные (возможные) значения, а по оси ординат — средние значения величины. Для каждой станции на уровне, со-

ответствующем его среднему значению, наносятся значения вычисленных обеспеченностей. Через точки равных обеспеченностей проводятся прямые линии. Кроме нахождения значений величин различной обеспеченности номограммы позволяют судить о временной и пространственной изменчивости метеовеличин. По длине наклонных линий судят о пространственной изменчивости, а по расстоянию между линиями 5- и 95%-ной обеспеченности — о временной изменчивости метеовеличины. Номограмма позволяет судить о рассеянии рядов ($x_{50} - x_{95}$) и их асимметричности. В симметричных распределениях средние значения равны 50%-ной обеспеченности. При положительной асимметрии среднее лежит левее 50%-ной обеспеченности. При отрицательной — правее.

Часто в основе методов косвенного расчета климатических показателей лежат аппроксимации выборочных распределений метеорологических величин одномерными и многомерными теоретическими функциями распределения. Например, этот прием можно применить для получения значений повторяемостей по известным параметрам закона распределения. Предположим, что необходимо получить надежные значения повторяемостей на короткорядной станции. Установлено, что распределение значений метеорологической величины на двух соседних станциях, расположенных в одинаковых условиях, подчиняются одному и тому же закону. Известно и то, что изменчивость метеорологических величин на них также примерно одинакова ($\sigma_a \approx \sigma_b$). Это дает основание использовать установленный по данным длиннорядной станции закон распределения к распределению значений на короткорядной станции. Некоторые параметры, входящие в закон распределения, например, среднее квадратическое отклонение, можно или рассчитать по короткому ряду, или даже взять по соседней станции. Средние значения на короткорядной станции следует уточнять путем приведения к длинному периоду.

Наиболее часто к косвенному расчету с использованием теоретических функций распределения прибегают при определении экстремальных значений метеорологической величины заданного уровня вероятности. Обычно задача сводится к графическому выравниванию интегральных распределений с помощью специальных клетчаток.

Расчет интегральных повторяемостей P ранжированного ряда в этих случаях чаще всего выполняется по одной из формул:

$$P = \frac{m}{n+1} 100\%, \quad (4.3.3)$$

$$\vee \quad P = \frac{m - 0,25}{n + 0,50} 100\%, \quad (4.3.4)$$

$$P = \frac{m - 0,30}{n + 0,40} 100\%, \quad (4.3.5)$$

где n — число членов ряда; m — порядковый номер члена в ранжированном ряду.

При практических расчетах используются два вида клетчаток, одна для распределений с умеренной асимметрией, а другая для крайне асимметричных распределений. На первой клетчатке ось абсцисс является логарифмической и служит для нанесения значений вероятности, а ось ординат — линейной и служит для нанесения самих значений величины. На второй клетчатке ось абсцисс является билогарифмической, а ось ординат — логарифмической.

Применение таких шкал позволяет спрямить интегральные кривые, что дает возможность экстраполировать их в область экстремальных значений.

Интегральные вероятности P , соответствующие заданным периодам повторения T для левой части клетчатки, находятся по соотношению

$$P = 1/TN, \quad (4.3.6)$$

а для правой части

$$P = 1 - 1/TN, \quad (4.3.7)$$

где N — число наблюдений в течение года. Если построение интегральной кривой выполняется по данным за отдельные годы, то $N=1$.

Этот метод позволяет получать экстремальные значения метеовеличины за периоды, большие, чем период наблюдений.

Довольно простым является косвенный метод, предложенный Г. А. Алексеевым, который позволяет получать основные климатические показатели (x , σ , A_s , C_v). Он основан на выравнивании интегральных распределений с помощью специальных клетчаток. Интегральные повторяемости ранжированного в убывающем порядке членов ряда, рассчитываются по формуле (4.3.4).

Далее по величине скошенности s находятся с помощью таблиц Алексеева значение A_s и нормированные отклонения τ_5 , τ_{50} , τ_{95} ;

$$s = \frac{x_5 + x_{95} - 2x_{50}}{x_5 - x_{95}}, \quad (4.3.8)$$

где x_5 , x_{50} , x_{95} — значения метеовеличины 5, 50 и 95%-ной обеспеченностей.

Нормированные отклонения позволяют получать σ и $\bar{x}$:

$$\sigma = \frac{x_5 - x_{95}}{\tau_5 - \tau_{95}}, \quad (4.3.9)$$

$$\bar{x} = x_{50} - \sigma \tau_{50}. \quad (4.3.10)$$

Ошибки расчетов по методике Алексеева обычно не превышают 5—10%.

Теория выбросов случайных функций может быть использована для определения непрерывной продолжительности пребывания значений метеорологической величины выше или ниже заданного уровня. Основным условием возможности определения характеристик выбросов расчетным путем является наличие стационарности процесса и гауссовости распределения случайной величины. В первом приближении ряды средних суточных температур воздуха отвечают предъявляемым требованиям. Тогда вероятность пребывания ее ниже заданного уровня определяется по формуле

$$\Phi(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau} e^{-\tau^2/2} d\tau, \quad (4.3.11)$$

а выше

$$\Phi'(\tau) = 1 - \Phi(\tau), \quad (4.3.12)$$

где $\tau = \frac{c - \bar{x}}{\sigma}$ — нормированное отклонение уровня c от среднего значения $\bar{x}$; σ — среднее квадратическое отклонение.

Вероятность выброса температуры воздуха ниже (или выше) заданного уровня c может быть определена по формуле

$$P(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau} e^{-\tau^2/2} \left[1 - \Phi\left(\frac{\tau - R\tau}{\sqrt{1 - R^2}}\right) \right] d\tau, \quad (4.3.13)$$

где R — значение коэффициента корреляции между значениями величины в моменты времени t_0 и t_1 ; Φ — интеграл вероятностей.

Функция (4.3.13) может быть затабулирована и представлена в виде таблицы (табл. 4.3.7). Зная вероятность пребывания случайной величины ниже заданного уровня и вероятность «выброса» ниже этого уровня, можно определить среднюю длительность периода $\bar{t}$ по соотношению

$$\bar{t} = \frac{\Phi(\tau)}{P(\tau)}. \quad (4.3.14)$$

Средняя длительность периода пребывания случайной величины выше заданного уровня определяют по формуле

$$\bar{t} = \frac{1 - \Phi(\tau)}{P(\tau)}. \quad (4.3.15)$$

Общее число выбросов N ниже (выше) заданного уровня определяется по выражению

$$N = P(\tau)n, \quad (4.3.16)$$

где n — число дней в месяце.

Полное время пребывания T случайной функции ниже (выше) заданного значения определяется по формуле

$$T = \bar{t} N. \quad (4.3.17)$$

Рассматривая формулы (4.3.14) и (4.3.15), можно заметить, что длительность периода $\bar{t}$ есть функция τ и R , поэтому длительность может быть затабулирована (табл. 4.3.8), что облегчает расчеты.

Задание 1. Путем приведения получить на короткорядной станции B средние многолетние значения температуры воздуха. Оценить целесообразность приведения по выбранной длиннорядной станции A . Убедиться в согласованности хода температуры воздуха на станциях B и A . (B — Шаповский, с/х техникум, A — Москва, с/х академия), табл. 4.2.1, 4.1.1.

Рекомендации к выполнению задания 1

1. Подобрать для станции B соседнюю длиннорядную станцию A с однородными условиями наблюдений и определить среднюю разность $\bar{D}_n$ по схеме

Год	Температура		Разность температур, $d_i = b_i - a_i$
	станция B	станция A	
1			
2			
3			
...			
...			
n			
			$\bar{D}_n = \sum \frac{d_i}{n}$

Если ряд станции B неоднороден, то неоднородность следует устранить.

2. Вычислить на станции A многолетние значения за весь период наблюдений.

3. Выполнить приведение по формуле (4.3.1).

4. Целесообразность приведения проверить по соотношению $v_a < v_b$, которые рассчитать, используя схему

Год	Температура на станции		Разность температур $d_i = b_i - a_i$	$b_i - \bar{B}_n$	$a_i - \bar{A}_n$	$d_i - \bar{D}_n$
	станция В	станция А				
1						
2						
3						
...						
...						
n						
	$\bar{B}_n = \frac{\sum b_i}{n}$	$\bar{A}_n = \frac{\sum a_i}{n}$	$\bar{D}_n = \frac{\sum d_i}{n}$	$v_B = \frac{\sum / /}{n}$	$v_A = \frac{\sum / /}{n}$	$v_d = \frac{\sum / /}{n}$

5. Согласованность в ходе метеорологической величины можно считать хорошей, если $v_a \approx v_b$.

† Задание 2. Выполнить приведение коротких рядов осадков станции В к данным длиннорядной станции А. Проверить целесообразность приведения В — Кингисепп, А — Ленинград; табл. 4.3.2, 4.3.3.

158

Рекомендации к выполнению задания 2

1. По однородным рядам сумм осадков холодного и теплого периодов года на станциях В и А построить графики корреляционной зависимости. Обычно по оси абсцисс откладываются значения длиннорядной станции А, а по оси ординат — короткорядной станции В. Точки на графике наносятся по данным наблюдений за совместные годы. Линия корреляционной зависимости должна проходить через начало координат и группу точек с таким расчетом, чтобы суммы перпендикуляров, опущенных из точек, расположенных выше линии, равнялись сумме перпендикуляров, восстановленных из точек ниже линии. Обычно линия проходит по большой оси эллипса, охватывающего группу точек.

2. По значениям $\bar{A}_n$ с графиков снимаются $\bar{B}_n$ для сумм осадков холодного и теплого периодов года.

3. Целесообразность приведения проверяется исходя из соотношений большой (а) и малой (b) осей эллипса. Если $a/b \geq 2$, то приведение целесообразно, так как в этом случае коэффициент корреляции больше 0,7.

Задание 3. Определить для данной короткорядной станции В средние многолетние количества осадков за каждый месяц.

Рекомендации к выполнению задания 3

1. Получить путем приведения многолетние количества осадков за теплый и холодный периоды (подобные значения могут быть получены в предыдущих упражнениях).

2. Снять с карт изомер отношения месячных сумм осадков к суммам осадков за соответствующий период. Если нет карт изомер, можно использовать приближенный способ определения этих отношений. Вычисляются отношения на длиннорядной станции и делается предположение, что они должны быть такими же на короткорядной станции. Это возможно лишь в том случае, если на той и другой станции годовой ход осадков аналогичен.

3. Умножить периодные суммы осадков на соответствующие отношения.

+ **Задание 4.** По многолетним значениям средних месячных температур воздуха определить средние месячные многолетние значения температуры воздуха за отдельные дни, декады и пентады, даты устойчивого перехода суточной температуры через заданные значения (0, 5, 10, 15°), число дней и суммы температур выше или ниже заданных (Справочник по климату СССР. М., Гидрометеиздат, 1964. Ч. 2, табл. 1).

Рекомендации к выполнению задания 4

1. Построить график годового хода температуры воздуха, соблюдая рекомендованный масштаб и равенство площадей, отсекаемых и прирезаемых к прямоугольникам. Построение графика следует начинать с ноября и им же заканчивать. В точках экстремумов правильность приведения линии контролировать исходя из того, что среднее значение температуры, определенное по данным трех декад, не должно отличаться от средней месячной температуры более чем на 0,1°С.

2. Средние температуры декад и пентад снимаются с кривой на середину временного интервала.

3. Число дней с температурой выше или ниже задаваемых значений находится между датами перехода через эти значения без учета самих дат.

4. Суммы температур выше определенных значений определяются площадью, заключенной между кривой годового хода и ординатой, соответствующей заданной температуре. Проще всего эти суммы можно определить следующим образом: в те месяцы, когда средние месячные температуры превышают указанные значения, суммы температур находятся путем умножения месячной температуры на число дней в месяце. В месяцах, в которых отмечается переход суточной температуры через задаваемые значения, суммы температур определяются путем умножения средней температуры отрезка времени, соответствующего температуре выше задаваемой, на число дней с температурой вышеуказанных значений.

~~Задание 5.~~ Для данного района и месяца построить номограмму и по среднему многолетнему значению заданной короткорядной станции B определить значения заданной обеспеченности. Сделать вывод об изменчивости величины во времени и пространстве, об изменчивости и симметричности ряда распределения на станции B (табл. 4.3.1).

Рекомендации к выполнению задания 5

1. По данным длиннорядных станций рассчитать значения повторяемостей и обеспеченностей.

2. Построить интегральные кривые распределения на каждой станции. Отобрать станции с типовыми кривыми распределения.

3. Для выбранных станций определить средние многолетние значения и значения обеспеченностью 5, 10, 20, ..., 90, 95%.

4. Задать оси номограммы. По оси x откладываются значения различной обеспеченности (возможные значения), а по оси ординат — средние многолетние значения. Масштаб по оси y должен быть крупнее.

5. Для каждой станции на ординате, соответствующей среднему значению, откладывать значения определенной обеспеченности. Желательно значения определенной обеспеченности наносить разными обозначениями.

6. Через группы точек одинаковой обеспеченности провести средние линии.

7. Снятие с номограммы значений различной обеспеченности для заданной станции осуществляется по среднему многолетнему значению. Пересечения ординат, соответствующей среднему значению с линиями определенной обеспеченности, определяют возможные значения.

8. Для того чтобы судить об изменчивости метеорологической величины в данном районе во времени, найдите $x_{95} - x_5$, где x_{95} и x_5 — значения 5 и 95%-ных обеспеченностей.

9. Изменчивость в пространстве оценить, найдя разности

$$\Delta \bar{x} = \bar{x}_{\text{макс}} - \bar{x}_{\text{мин}}, \quad \Delta x_5 = x_{5 \text{ макс}} - x_{5 \text{ мин}},$$

$$\Delta x_{50} = x_{50 \text{ макс}} - x_{50 \text{ мин}}, \quad \Delta x_{95} = x_{95 \text{ макс}} - x_{95 \text{ мин}}.$$

10. Изменчивость величины на станции B определить с помощью вероятного отклонения e

$$e = (x_{75} - x_{25}) / 2. \quad (4.3.18)$$

Поскольку на графике нет линий 25 и 75%-ной обеспеченностей, то применим приближенное соотношение

$$e' = (x_{80} - x_{30}) / 2. \quad (4.3.19)$$

11. Для суждения о симметричности распределения ряда B снимите x_{50} . Если $x_{50} = x$, то ряд симметричен. Если $x < x_{50}$, то асимметрия положительная, при $x > x_{50}$ — отрицательная.

Задание 6. Рассчитать значения повторяемостей средней месячной температуры воздуха в различных пределах на короткорядной станции *B* на основе выравнивания эмпирических кривых теоретическими функциями.

Рекомендации к выполнению задания 6

1. По эмпирическому распределению длиннорядной соседней станции подобрать теоретическую функцию и определить параметры, которые в нее входят.

2. Получить среднее многолетнее значение на короткорядной станции путем приведения к длинному периоду.

3. Основываясь на законе распределения метеорологической величины и его статистических параметрах, определить теоретические повторяемости на короткорядной станции. При этом берется среднее многолетнее приведенное значение, а недостающие параметры — по длиннорядной станции.

Задание 7. Для данного месяца и станции определить экстремальные количества осадков, возможные раз в 5, 20, 50 и 100 лет (ст. Ленинград, табл. 4.2.3).

Рекомендации к выполнению задания 7

1. Выписать члены ряда в убывающем порядке и пронумеровать их.

2. Определить обеспеченность каждого члена по формуле (4.3.4). Вычисление обеспеченностей облегчается, если использовать специальные таблицы (табл. 4.3.2).

3. На клетчатке для кривых с умеренной асимметрией построить интегральную кривую распределения.

4. Снять максимальные значения осадков, для чего использовать связь между периодом повторения и обеспеченностью.

Задание 8. Используя графоаналитический метод Алексева, определить для данного месяца и станции x , σ , A_s , C_v (ст. Ленинград, табл. 4.2.3).

Рекомендации к выполнению задания 8

1. Данные исходного ряда расположить в убывающем порядке. Можно использовать ряд предыдущего упражнения и пронумеровать.

2. Определить обеспеченность каждого члена ряда по формуле (4.3.4).

3. Построить интегральную кривую распределения на клетчатке с умеренной асимметрией.

4. Снять x_5 , x_{50} , x_{95} и определить коэффициент скошенности по формуле 4.3.8.

5. По величине s войти в табл. 4.3.3 и определить коэффициент асимметрии (As) и нормированные отклонения $\tau_5, \tau_{50}, \tau_{95}$.
6. Найти квадратическое отклонение по формуле (4.3.9).
7. Найти среднее значение по формуле (4.3.10).
8. Найти коэффициент вариации по формуле $C_v = \sigma/\bar{x}$.

+ **Задание 9.** Используя данные о повторяемости числа дней со средней суточной температурой воздуха (Справочник по климату СССР, табл. 6) и ее междусуточной изменчивости (табл. 4а), определить среднюю непрерывную продолжительность периодов $\bar{t}$ с температурами воздуха ниже (выше) заданных значений, число переходов температуры воздуха через указанные пределы N , а также суммарную продолжительность периодов с указанными температурами T (табл. 4.3.4 и 4.3.5).

Рекомендации к выполнению задания 9

1. На основании таблицы повторяемости числа дней различных значений средней суточной температуры определить ее среднее значение $\bar{x}$ и среднее квадратическое отклонение σ ,

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x} m_i}{n}, \quad (4.3.20)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\tilde{x}_i - \bar{x})^2 m_i}{n}}, \quad (4.3.21)$$

где $\tilde{x}_i$ — значения середин градаций; m_i — повторяемость.

2. На основании таблицы о повторяемости междусуточной изменчивости температуры воздуха определить временную структурную B и корреляционную R функции со сдвигом во времени в одни сутки.

$$B(\tau) = \frac{\sum \tilde{x}_i^2 p_i}{100}, \quad (4.3.22)$$

$$R(\tau) = 1 - \frac{B(\tau)}{2\sigma^2}. \quad (4.3.23)$$

При расчетах можно пользоваться схемой

Градации	$\tilde{x}_i$	p_i	$\tilde{x}_i^2$	$\tilde{x}_i^2 p_i$
				$\sum \tilde{x}_i^2 p_i$

3. Задать уровни выбросов c_i и для них определить нормированные отклонения $\tau_i = (c_i - \bar{x})/\sigma$.
4. По табл. (4.3.6) найти значения функции $\Phi(\tau_i)$.
5. По табл. (4.3.7) найти вероятность перехода температуры через данный уровень $P(\tau_i R)$. Для более точного ее определения можно построить график $P(\tau_i R)$.
6. Определить $\bar{t}$ по формуле (4.3.14) или (4.3.15).
7. Найти общее число переходов N средней суточной температуры вниз (вверх) через заданный уровень по формуле 4.3.16.
8. Определить полное время T пребывания температуры ниже (выше) заданного уровня по формуле (4.3.17).
9. При расчетах можно воспользоваться схемой

Уровни температуры, c	$\Phi(\tau)$	$P(\tau, R)$	$\bar{t}$	N	T
c_1					
c_2					
c_3					

Вопросы для самопроверки

1. Какое назначение имеют косвенные методы расчета климатических показателей? На чем они основаны?
2. Какие задачи решает приведение коротких рядов?
3. Какие методы приведения известны? На чем они основаны?
4. Для рядов каких метеорологических характеристик применяются методы разностей и отношений?
5. Как оценивается целесообразность приведения?
6. Когда применяется приведение по двум и более станциям и когда двухступенное приведение или многоступенное?
7. Какие многолетние характеристики позволяют получить метод построения годового хода метеорологической величины?
8. На чем основан метод номограмм и какие показатели он позволяет получать? Как судят об изменчивости величины во времени и пространстве?
9. Какие показатели можно получать с помощью выравнивания рядов теоретическими функциями? Как это осуществляется для коротких рядов?
10. На чем основан метод расчета экстремальных значений заданной вероятности? Как связаны между собой обеспеченность и период повторения величины?
11. На чем основан графоаналитический метод расчета климатических показателей?
12. Что такое метод изомер и на чем он основан?

13. Для каких рядов можно применять теорию выбросов случайной величины?

14. Какие характеристики временной структуры рядов средней суточной температуры воздуха можно получать с помощью теории выбросов?

15. Как влияет связность рядов на вероятность и среднюю продолжительность выбросов?

Таблица 4.3.1

Число дней со средней суточной температурой воздуха в различных пределах

Температура	Калинин			Тургиново			Москва, с/х академия		
	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII
0,1—5,0	0,4			0,1			0,1		
5,1—10,0	2,0	0,4	0,9	2,2	0,02	0,8	2,4	0,1	0,9
10,1—15,0	10,0	7,9	12,7	10,4	6,1	11,3	9,0	4,8	10,9
15,1—20,0	12,5	16,8	12,7	12,45	17,68	15,81	12,3	15,8	14,1
20,1—25,0	4,9	5,8	4,6	4,8	6,9	3,0	6,0	9,5	4,8
25,1—30,0	0,2	0,1	0,1	0,05	0,8	0,09	0,2	0,8	0,3
Всего	30	31	31	30	31	31	30	30	31
Средняя	16,0	17,7	16,2	15,0	17,2	15,4	15,8	18,1	16,4

Температура	Москва, Межевой институт			Собакино			Михнево		
	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII
0,1—5,0	0,1			0,1			0,1		
5,1—10,0	2,0	0,1	0,8	2,5	0,09	0,9	2,2	0,03	0,9
10,1—15,0	8,1	3,9	10,6	9,7	5,9	11,1	9,7	5,3	11,8
15,1—20,0	12,4	15,5	13,6	12,1	17,0	15,0	12,7	16,87	14,1
20,1—25,0	6,9	10,3	5,4	5,4	7,5	3,7	5,1	8,0	3,8
25,1—30,0	0,5	1,2	0,6	0,2	0,5	0,3	0,2	0,8	0,4
Всего	30	31	31	30	31	31	30	31	31
Средняя	16,5	19,0	17,1	15,3	17,4	15,6	15,5	17,6	15,8

Таблица 4.3.1а

Средние многолетние температуры

Станция	VI	VII	VIII
Щаповский, с/х техникум	15,4	17,6	15,9
Шаховская	14,8	17,0	15,4

Таблица 4.3.2

Значения обеспеченностей по формуле $P = \frac{m - 0,25}{n + 0,50} 100\%$

m	n				
	86	87	88	89	90
1	2	3	4	5	6
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9
3	3,2	3,1	3,1	3,1	3,0
4	4,3	4,3	4,2	4,2	4,1
5	5,5	5,4	5,4	5,3	5,2
6	6,6	6,6	6,5	6,4	6,4
7	7,8	7,7	7,6	7,5	7,4
8	9,0	8,8	8,7	8,7	8,6
9	10,1	10,0	9,9	9,8	9,7
10	11,3	11,1	11,0	10,9	10,8
11	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9
12	13,6	13,4	13,3	13,1	13,0
13	14,7	14,6	14,4	14,2	14,1
14	15,9	15,7	15,5	15,4	15,2
15	17,0	16,8	16,7	16,5	16,3
16	18,2	18,0	17,8	17,6	17,4
17	19,4	19,1	18,9	18,7	18,5
18	20,5	20,3	20,1	19,8	19,6
19	21,7	21,4	21,2	20,9	20,7
20	22,8	22,6	22,3	22,1	21,8
21	24,0	23,7	23,4	23,2	22,9
22	25,1	24,9	24,6	24,3	24,0
23	26,3	26,0	25,7	25,4	25,1
24	27,4	27,1	26,8	26,5	26,2
25	28,6	28,3	28,0	27,7	27,3
26	29,8	29,4	29,1	28,8	28,4
27	30,9	30,6	30,2	29,9	29,6
28	32,1	31,7	31,4	31,0	30,7
29	33,2	32,9	32,5	32,1	31,8
30	34,4	34,0	33,6	33,2	32,9
31	35,5	35,1	34,4	34,4	34,0
32	36,7	36,3	35,9	35,5	35,1
33	37,9	37,4	37,0	36,6	36,2
34	39,0	38,6	38,1	37,7	37,3
35	40,2	39,7	39,3	38,8	38,4

Окончание табл. 4.3.2

1	2	3	4	5	6
36	41,3	40,9	40,4	39,9	39,5
37	42,5	42,0	41,5	41,1	40,6
38	43,6	43,1	42,7	42,2	41,7
39	44,8	44,3	43,8	43,1	42,8
40	46,0	45,4	44,9	44,4	43,9
41	47,6	46,6	46,0	45,5	45,0
42	48,3	47,7	47,2	46,6	46,1
43	49,4	48,9	48,3	47,8	47,2
44	50,6	50,0	49,4	48,9	48,3
45	51,7	51,1	50,6	50,0	49,4
46	52,9	52,3	51,7	51,1	50,6
47	54,0	53,4	52,8	52,2	51,7
48	55,2	54,6	53,9	53,3	52,8
49	56,4	55,7	55,1	54,5	53,9
50	57,5	56,9	56,2	55,6	55,0
51	58,7	58,0	57,3	56,7	56,1
52	59,8	59,1	58,5	57,8	57,2
53	61,0	60,3	59,6	58,9	58,3
54	62,1	61,4	60,7	60,0	59,4
55	63,3	62,6	61,9	61,2	60,5
56	64,4	63,7	63,0	62,3	61,6
57	65,6	64,8	64,1	63,4	62,7
58	66,8	66,0	65,2	64,5	63,8
59	67,9	67,1	66,4	65,6	64,9
60	69,1	68,3	67,5	66,8	66,0
61	70,2	69,4	68,6	67,9	67,1
62	71,4	70,6	69,8	69,0	68,2
63	72,5	71,7	70,9	70,1	69,3
64	73,7	72,8	72,0	71,2	70,4
65	74,8	74,0	73,2	72,3	71,5
66	76,0	75,1	74,3	73,5	72,6
67	77,2	76,3	75,4	74,6	73,8
68	78,3	77,4	76,5	75,7	74,9
69	79,5	78,6	77,7	76,8	76,0
70	80,6	79,7	78,8	77,9	77,1
71	81,8	80,9	79,9	79,0	78,2
72	82,9	82,0	81,1	80,2	79,3
73	84,1	83,1	82,2	81,3	80,4
74	85,3	84,3	83,3	82,4	81,5
75	86,4	85,4	84,4	83,5	82,6
76	87,6	86,6	85,6	84,6	83,7
77	88,7	87,7	86,7	85,7	84,8
78	89,9	88,9	87,9	86,9	85,9
79	91,0	90,0	89,0	88,0	87,0
80	92,2	91,1	90,1	89,1	88,1
81	93,3	92,3	91,2	90,2	89,2
82	94,5	93,4	92,4	91,3	90,3
83	95,7	94,6	93,5	92,5	91,4
84	96,8	95,7	94,6	93,6	92,5
85	98,0	96,9	95,8	94,7	93,6
86	99,1	98,0	96,9	95,8	94,8
87		99,1	98,0	96,9	95,9
88			99,1	98,0	97,0
89				99,2	98,1
90					99,2

Таблица 4.3.3

Значения коэффициента асимметрии и коэффициента скошенности
биномиальной кривой распределения (по Алексеву)

$$\tau_p = \frac{x_p - \bar{x}}{\sigma_x}$$

As	τ_5	τ_{10}	τ_{50}	τ_{90}	τ_{95}	$\tau_5 - \tau_{95}$	S	τ'	s'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0	1,64	1,28	0,00	-1,28	-1,64	3,28	0,00	5,84	0,00
0,1	1,67	1,29	-0,02	-1,27	-1,61	3,28	0,03	5,84	0,03
0,2	1,70	1,30	-0,03	-1,26	-1,59	3,28	0,06	5,84	0,05
0,3	1,72	1,31	-0,05	-1,24	-1,56	3,27	0,08	5,82	0,08
0,4	1,75	1,32	-0,07	-1,23	-1,52	3,27	0,11	5,82	0,10
0,5	1,77	1,32	-0,08	-1,22	-1,49	3,26	0,14	5,80	0,12
0,6	1,80	1,33	-0,10	-1,20	-1,45	3,25	0,17	5,78	0,15
0,7	1,82	1,33	-0,12	-1,18	-1,42	3,24	0,20	5,75	0,18
0,8	1,84	1,34	-0,13	-1,17	-1,38	3,22	0,22	5,73	0,20
0,9	1,86	1,34	-0,15	-1,15	-1,35	3,21	0,25	5,70	0,23
1,0	1,88	1,34	-0,16	-1,13	-1,32	3,20	0,28	5,67	0,25
1,1	1,89	1,34	-0,18	-1,10	-1,28	3,17	0,31	5,61	0,28
1,2	1,92	1,34	-0,19	-1,08	-1,24	3,16	0,34	5,58	0,31
1,3	1,94	1,34	-0,21	-1,06	-1,20	3,14	0,37	5,54	0,34
1,4	1,95	1,34	-0,22	-1,04	-1,17	3,12	0,39	5,50	0,36
1,5	1,96	1,33	-0,24	-1,02	-1,13	3,09	0,42	5,44	0,39
1,6	1,97	1,33	-0,25	-0,99	-1,10	3,07	0,45	5,38	0,41
1,7	1,98	1,32	-0,27	-0,97	-1,06	3,04	0,48	5,33	0,44
1,8	1,99	1,32	-0,28	-0,94	-1,02	3,01	0,51	5,27	0,47
1,9	2,00	1,31	-0,29	-0,92	-0,98	2,98	0,54	5,21	0,49
2,0	2,00	1,30	-0,31	-0,90	-0,95	2,96	0,57	5,15	0,52
2,1	2,01	1,29	-0,32	-0,87	-0,91	2,92	0,59	5,08	0,55
2,2	2,02	1,27	-0,33	-0,84	-0,88	2,89	0,63	5,02	0,58
2,3	2,01	1,26	-0,34	-0,82	-0,85	2,86	0,64	4,94	0,60
2,4	2,00	1,25	-0,35	-0,79	-0,82	2,82	0,67	4,86	0,62
2,5	2,00	1,23	-0,36	-0,77	-0,79	2,79	0,69	4,79	0,65

Окончание табл. 4.3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,6	2,00	1,21	-0,37	-0,75	-0,76	2,76	0,72	4,72	0,67
2,7	2,00	1,19	-0,38	-0,72	-0,74	2,74	0,74	4,65	0,70
2,8	2,00	1,18	-0,39	-0,70	-0,71	2,71	0,76	4,59	0,72
2,9	1,99	1,15	-0,39	-0,68	-0,69	2,68	0,78	4,51	0,74
3,0	1,97	1,13	-0,40	-0,66	-0,67	2,64	0,80	4,43	0,76
3,1	1,97	1,11	-0,40	-0,64	-0,64	2,62	0,81	4,37	0,78
3,2	1,96	1,09	-0,41	-0,62	-0,62	2,59	0,83	4,30	0,80
3,3	1,95	1,08	-0,41	-0,60	-0,60	2,56	0,85	4,24	0,82
3,4	1,94	1,06	-0,41	-0,59	-0,59	2,53	0,80	4,17	0,83
3,5	1,93	1,04	-0,41	-0,57	-0,57	2,50	0,87	4,11	0,84
3,6	1,93	1,03	-0,42	-0,56	-0,56	2,48	0,89	4,07	0,86
3,7	1,91	1,01	-0,42	-0,54	-0,54	2,45	0,90	4,00	0,88
3,8	1,90	1,00	-0,42	-0,53	-0,53	2,43	0,91	3,95	0,89
3,9	1,90	0,98	-0,41	-0,51	-0,51	2,41	0,92	3,91	0,90
4,0	1,90	0,96	-0,41	-0,50	-0,50	2,40	0,92	3,86	0,91
4,1	1,89	0,95	-0,41	-0,49	-0,49	2,38	0,93	3,81	0,92
4,2	1,88	0,93	-0,41	-0,48	-0,48	2,36	0,94	3,76	0,93
4,3	1,87	0,92	-0,40	-0,47	-0,47	2,34	0,94	3,72	0,93
4,4	1,86	0,91	-0,40	-0,46	-0,46	2,32	0,95	3,68	0,94
4,5	1,85	0,89	-0,40	-0,45	-0,45	2,30	0,96	3,63	0,95
4,6	1,84	0,87	-0,40	-0,44	-0,44	2,28	0,97	3,58	0,96
4,7	1,83	0,85	-0,40	-0,43	-0,43	2,26	0,97	3,53	0,97
4,8	1,81	0,82	-0,39	-0,42	-0,42	2,23	0,98	3,46	0,97
4,9	1,80	0,80	-0,39	-0,41	-0,41	2,21	0,98	3,42	0,97
5,0	1,78	0,78	-0,38	-0,40	-0,40	2,18	0,98	3,36	0,98
5,1	1,76	0,76	-0,38	-0,39	-0,39	2,15	0,98	3,30	0,98
5,2	1,74	0,73	-0,37	-0,38	-0,38	2,15	0,98	3,24	0,98

Таблица 4.3.4

Число дней со средней суточной температурой воздуха в различных пределах.
Москва, с/х академия, 1881—1960 гг.

Месяцы												
Темпе- ратура, ° от ... до	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
—39,9—35,0	0,06	0,01										0,2
—34,9—30,0	0,3	0,05									0,02	0,6
—29,9—25,0	0,9	0,3									0,08	1,1
—24,9—20,0	2,4	1,4	0,1							0,01	0,5	2,8
—19,9—15,0	4,6	4,5	1,3							0,1	1,8	5,4
—14,9—10,0	6,3	6,5	3,8	0,01						0,7	5,5	8,0
—9,9—5,0	7,3	7,7	8,4	0,8					0,1	4,9	10,8	9,1
—4,9—0,0	7,3	6,0	10,3	4,9	0,1	0,1			2,3	12,0	9,4	3,9
0,1—5,0	1,9	1,8	7,0	12,6	2,7	2,4	0,1	0,9	11,0	10,5	1,8	0,01
5,1—10,0			0,2	7,5	8,2	9,0	4,8	10,9	12,4	2,7	0,04	
10,1—15,0				3,8	10,6	12,3	15,8	14,1	3,9	0,1		
15,1—20,0				0,4	7,7	6,0	9,5	4,8	0,3			
20,1—25,0				0,01	1,6	0,2	0,8	0,3				
25,1—30,0					0,02							

Таблица 4.3.5

Повторяемость междусуточной изменчивости температуры воздуха, %.
Москва, с/х академия.

Месяцы												
Пределы от ... до	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
—17,9—16,0		0,4										0,7
—15,9—14,0		0,3									0,1	0,1
—13,9—12,0	0,5	0,6	0,1	0,1							0,1	0,3
—11,9—10,0	1,0	0,9		0,1	0,3						0,1	0,9
—9,9—8,0	2,2	1,7	0,7	0,1	0,9	0,1	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	1,2
—7,9—6,0	3,3	3,1	1,8	0,5	2,1	2,1	0,7	0,5	0,9	0,9	2,3	2,8
—5,9—4,0	8,9	7,8	6,2	2,7	4,5	3,1	3,0	3,8	5,1	5,7	4,3	6,0
—3,9—2,0	15,2	11,5	13,3	11,5	12,2	13,6	12,9	12,9	16,1	14,5	16,7	14,8
—1,9—0,1	23,0	20,9	23,1	24,6	22,5	24,1	27,0	31,1	31,1	31,2	28,1	25,0
0,0—1,9	19,0	21,4	30,8	37,5	32,6	34,4	39,0	37,5	31,1	29,8	25,0	23,8
2,0—3,9	11,4	13,5	14,0	17,4	12,0	17,2	15,3	12,0	12,4	12,3	16,3	13,1
4,0—5,9	6,5	9,9	5,5	4,4	4,8	4,7	1,8	1,8	3,1	4,2	4,0	6,5
6,0—7,9	4,9	4,3	2,7	1,1	0,8	0,7		0,1	0,5	0,5	1,9	2,0
8,0—9,9	2,5	1,3	1,2		0,3				0,3	0,3	0,4	1,1
10,0—11,9	1,0	1,0	0,3						0,1	0,1	0,4	1,2
12,0—13,9	0,4	0,9	0,3									0,5
14,0—15,9	0,1	0,4										
16,0—17,9	0,1											
18,0—19,9		0,1										

Таблица 4.3.6

Значения функций $\Phi(\tau)$

τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	50000	50399	50798	51197	51595	51994	52392	52790	53188	53586
0,1	53983	54380	54776	55172	55567	55962	56356	56749	57142	57535
0,2	57926	58317	58706	59095	59483	59871	60257	60642	61026	61409
0,3	61791	62172	62552	62930	63307	63683	64058	64431	64803	65173
0,4	65542	65910	66276	66640	67003	67364	67724	68082	68439	68793
0,5	69146	69497	69847	70194	70540	70884	71226	71566	71904	72240
0,6	72575	72907	73237	73565	73891	74215	74537	74857	75175	75490
0,7	75804	76115	76424	76730	77035	77337	77637	77935	78230	78524
0,8	78814	79103	79389	79673	79955	80234	80511	80785	81057	81327
0,9	81594	81859	82121	82381	82639	82894	83147	83398	83646	83891
1,0	84134	84375	84614	84850	85083	85314	85543	85769	85993	86214
1,1	86433	86650	86864	87076	87286	87493	87698	87900	88100	88298
1,2	88493	88686	88877	89065	89251	89435	89617	89796	89973	89147
1,3	90320	90490	90658	90824	90988	91149	91308	91466	91621	91774
1,4	91924	92073	92220	92364	92507	92647	92786	92922	93056	93189
1,5	93319	93448	93574	93699	93822	93943	94062	94179	94295	94408
1,6	94520	94630	94738	94845	94950	95053	95154	95254	95352	95449
1,7	95543	95637	95728	95818	95907	95994	96080	96164	96246	96327
1,8	96407	96485	96562	96638	96712	96784	96856	96926	96995	97062
1,9	97128	97193	97257	97320	97381	97441	97500	97558	97615	97670
2,0	97725	97728	97831	97882	97932	97982	98030	98077	98224	98169
2,1	98214	98257	98300	98341	98382	98422	98461	98500	98537	98574
2,2	98610	98645	98679	98713	98745	98778	98809	98840	98870	98899
2,3	98928	98956	98983	99010	99036	99061	99086	99111	99134	99158
2,4	99180	99202	99224	99245	99266	99286	99305	99324	99343	99361
2,5	99370	99396	99413	99430	99446	99461	99477	99492	99506	99520
2,6	99534	99547	99560	99573	99585	99598	99609	99621	99632	99643
2,7	99653	99664	99674	99683	99693	99702	99711	99720	99728	99736
2,8	99744	99752	99760	99767	99774	99781	99788	99795	99801	99807
2,9	99813	99819	99825	99831	99836	99841	99846	99851	99856	99861
3,0	99865	99869	99874	99878	99882	99886	99889	99893	99896	99900
3,1	99903	99906	99910	99913	99916	99918	99921	99924	99926	99929
3,2	99931	99934	99936	99939	99940	99942	99944	99946	99948	99950
3,3	99952	99953	99955	99957	99958	99960	99961	99962	99964	99965
3,4	99966	99968	99969	99970	99971	99972	99973	99974	99975	99976
3,5	99977	99978	99979	99979	99980	99981	99981	99982	99983	99983
3,6	99984	99985	99985	99986	99986	99987	99987	99988	99988	99989
3,7	99989	99990	99990	99990	99991	99991	99992	99992	99992	99992
3,8	99993	99993	99993	99994	99994	99994	99994	99995	99995	99995
3,9	99995	99995	99996	99996	99996	99996	99996	99996	99997	99997
4,0	99997	99998	99999	99999	99999					

Таблица 4.3.7

Вероятность выбросов нормированной последовательности за уровень τ
при корреляции R между смежными членами последовательности

R													
τ	-0,80	-0,60	-0,40	-0,20	0	0,20	0,40	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,975
0,0	0,398	0,352	0,316	0,282	0,250	0,218	0,184	0,148	0,127	0,102	0,072	0,051	0,036
0,25	0,370	0,332	0,301	0,270	0,240	0,210	0,178	0,143	0,122	0,099	0,070	0,049	0,035
0,50	0,302	0,283	0,261	0,238	0,213	0,188	0,160	0,129	0,111	0,090	0,063	0,045	0,032
0,75	0,226	0,219	0,207	0,192	0,175	0,156	0,134	0,109	0,094	0,077	0,054	0,038	0,027
1,0	0,159	0,157	0,152	0,144	0,134	0,121	0,105	0,086	0,075	0,061	0,043	0,031	0,022
1,25	0,106	0,105	0,104	0,100	0,094	0,087	0,077	0,064	0,056	0,046	0,032	0,023	0,016
1,50	0,067	0,067	0,066	0,065	0,062	0,056	0,052	0,044	0,039	0,032	0,023	0,016	0,012
1,75	0,040	0,040	0,040	0,040	0,038	0,036	0,033	0,028	0,025	0,021	0,015	0,011	0,008
2,00	0,023	0,023	0,023	0,023	0,022	0,021	0,020	0,017	0,015	0,013	0,009	0,007	0,005
2,25	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002
2,50	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002
2,75	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
3,00	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000

Таблица 4.3.8

Средняя продолжительность выбросов нормированной последовательности
через уровень τ при корреляции R между смежными членами последовательности

R											
τ	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
-3,0	740	740	740	741	746	766	825	892	1021	1348	1844
-2,5	160	160	160	161	164	172	191	210	246	332	459
-2,0	43,0	43,0	43,2	44,0	45,7	49,3	56,7	63,5	75,6	104	145
-1,5	14,0	14,1	14,4	15,0	16,0	17,9	21,2	24,1	29,2	40,8	57,4
-1,0	5,36	5,54	5,84	6,30	6,98	8,01	9,76	11,3	13,8	19,5	27,6
-0,5	2,44	2,65	2,91	3,24	3,68	4,32	5,36	6,23	7,68	10,9	15,5
0	1,42	1,58	1,77	2,00	2,29	2,71	3,39	3,95	4,88	6,97	9,89
0,5	1,09	1,18	1,30	1,45	1,64	1,93	2,39	2,78	3,43	4,88	6,92
1,0	1,01	1,04	1,10	1,19	1,32	1,51	1,84	2,12	2,40	3,68	5,20
1,5	1,00	1,01	1,03	1,07	1,15	1,28	1,52	1,73	2,09	2,92	4,11
2,0	1,00	1,00	1,01	1,02	1,06	1,15	1,32	1,48	1,76	2,42	3,38
2,5	1,00	1,00	1,00	1,01	1,03	1,07	1,19	1,31	1,54	2,08	2,87
3,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,04	1,12	1,21	1,38	1,83	2,49

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ВЕЛИЧИНАМИ

Цель работы — научиться использовать различные методы выявления зависимостей между величинами, освоить методику составления уравнения связи.

Литература

1. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1963.
2. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1972.
3. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. — Л.: Гидрометеиздат, 1978.

В климатологических исследованиях довольно часто возникает необходимость выявлять зависимости между двумя и более величинами. Составленные уравнения связи в некоторых случаях могут являться основой для получения многолетних данных.

Вид связи определяется путем построения графика зависимости между наблюдаемыми значениями x и y .

В случае линейной связи между двумя величинами зависимость обычно отыскивается в виде уравнения регрессии:

$$y_i - \bar{y} = a(x_i - \bar{x}), \quad (4.4.1)$$

где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние значения метеорологических величин;

$a = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$ — коэффициент регрессии, r_{xy} — коэффициент корреляции между x и y , σ_x , σ_y — средние квадратические отклонения величин x и y .

Теснота связи оценивается коэффициентом корреляции, который может меняться от $-1,0$ до $1,0$. Средняя ошибка коэффициента корреляции при числе наблюдений больше 30 ($n \geq 30$) оценивается по формуле

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}. \quad (4.4.2)$$

При $n < 30$ принято оценивать предельные ошибки r при задаваемых уровнях значимости (доверительные границы коэффициента корреляции). Для этого сначала находят доверительные границы величины z :

$$z = 1/2 \ln \frac{1 + r}{1 - r}, \quad (4.4.3)$$

которая имеет ошибку σ_z ,

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}, \quad (4.4.4)$$

зависящую только от числа наблюдений n .

Значение величины z находят по специальным таблицам. Найдя доверительные границы величины $z(z \pm \sigma_z)$, переходят с помощью таблицы к доверительным границам r .

При определении коэффициентов регрессии и корреляции по сгруппированным рядам может быть рекомендован метод расчета с использованием статистических моментов и условных отклонений. Формула для нахождения коэффициента регрессии в этом случае выглядит следующим образом:

$$a = \frac{b_y}{b_x} \cdot \frac{m_{xy} t_x t_y - (m_x t_x)(m_y t_y)}{m_x t_x^2 - (m_x t_x)^2}, \quad (4.4.5)$$

где b_x и b_y — ширина градаций для x и y ; m_x и m_y — число наблюдений в каждой градации x и y ; m_{xy} — число наблюдений в каждой клетке таблицы двумерного распределения; $t_x = \frac{\tilde{x}_i - a_x}{b_x}$, $t_y = \frac{\tilde{y}_i - a_y}{b_y}$ — условные отклонения для x и y , x_i , y_i — середины градаций, a_x , a_y — середины градаций, в которых находятся медианные значения величины x и y .

Если устанавливается линейная зависимость одной величины от ряда других, то используют множественную корреляцию. В этом случае уравнение связи записывают в виде

$$y_i - \bar{y} = a_1(x_{1i} - \bar{x}_1) + a_2(x_{2i} - \bar{x}_2) + \dots + a_n(x_{ni} - \bar{x}_n), \quad (4.4.6)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ — значения определяющих факторов;

$a_1, a_2, \dots, a_n$ — коэффициенты регрессии.

Выражение для определения коэффициентов регрессии может быть записано в виде

$$a_j = \frac{\sigma_y}{\sigma_{xj}} \frac{D_{yxj}}{D_{yy}}, \quad (4.4.7)$$

где σ_y — среднее квадратическое отклонение зависимой величины y ; σ_{xj} — среднее квадратическое отклонение j -й независимой переменной; D_{yy} , D_{yxj} — минор определителя,

$$D = \begin{vmatrix} 1 & r_{yx1} & r_{yx2} & \dots & r_{yx_n} \\ r_{x_1y} & 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_ny} & r_{x_nx_1} & r_{x_nx_2} & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (4.4.8)$$

Минор D_{yy} представляет собой определитель D , у которого вычеркнуты первая строка и первый столбец

$$D_{yy} = \begin{vmatrix} 1 & r_{xx_2} & \dots & r_{x_1 x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{x_n x_1} & r_{x_n x_2} & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (4.4.9)$$

Минор D_{yx_j} — это определитель, у которого вычеркнута первая строка и j -й столбец.

Для частного случая с двумя независимыми переменными

$$D = \begin{vmatrix} 1 & r_{yx_1} & r_{yx_2} \\ r_{x_1 y} & 1 & r_{x_1 x_2} \\ r_{x_2 y} & r_{x_2 x_1} & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= 1 - r_{yx_1}^2 - r_{yx_2}^2 - r_{x_1 x_2} + 2r_{yx_1} r_{yx_2} r_{x_1 x_2}. \quad (4.4.10)$$

$$D_{yy} = \begin{vmatrix} 1 & r_{x_1 x_2} \\ r_{x_2 x_1} & 1 \end{vmatrix} = 1 - r_{x_1 x_2}^2. \quad (4.4.11)$$

$$D_{yx_1} = - \begin{vmatrix} r_{x_1 y} & r_{x_1 x_2} \\ r_{x_2 y} & 1 \end{vmatrix} = -r_{x_1 y} + r_{x_1 x_2} r_{x_2 y}. \quad (4.4.12)$$

$$D_{yx_2} = \begin{vmatrix} r_{x_1 y} & 1 \\ r_{x_2 y} & r_{x_2 x_1} \end{vmatrix} = r_{x_1 y} r_{x_2 x_1} - r_{x_2 y}. \quad (4.4.13)$$

Полный (множественный) коэффициент корреляции между зависимой переменной и всеми независимыми переменными определяется по выражению

$$R = \sqrt{1 - \frac{D}{D_{yy}}}, \quad (4.4.14)$$

и в случае двух независимых переменных определяется по выражению

$$R = \sqrt{\frac{r_{x_1 y}^2 + r_{x_2 y}^2 - 2r_{x_1 y} \cdot r_{x_2 y} \cdot r_{x_1 x_2}}{1 - r_{x_1 x_2}^2}}. \quad (4.4.15)$$

Точность полученного уравнения может быть оценена по формуле

$$\sigma_{yp} = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}. \quad (4.4.16)$$

Доля вклада каждого x_j определяется из соотношения

$$\delta(x_j) = \frac{r_{yx_j} a_j}{R^2}. \quad (4.4.17)$$

Эффективным считается вклад таких аргументов, для которых

$$\delta(x_j) > 2 \frac{\sigma_R^2}{R^2}, \quad (4.4.18)$$

где

$$\frac{\sigma_R^2}{R^2} = 2 \frac{\sigma_R}{R} + \left(\frac{\sigma_R}{R} \right)^2, \quad (4.4.19)$$

$$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n - j}}, \quad (4.4.20)$$

j — число аргументов.

Ошибки коэффициентов регрессии σ_{aj} определяют по выражению

$$\sigma_{aj} = \sqrt{\frac{1 - R^2}{n - j} \frac{D_{xj}}{D_{yy}}}. \quad (4.4.21)$$

Степень зависимости между двумя величинами в случае нелинейной связи может быть оценена с помощью корреляционного отношения

$$\eta = \frac{\sigma(\bar{y}_x)}{\sigma_y}, \quad (4.4.22)$$

где $\sigma(\bar{y}_x) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum^s (\bar{y}_x - \bar{y})^2 m_x}$ — средневзвешенное квадратическое отклонение частных значений $\bar{y}_x = \frac{1}{m_x} \sum^l \tilde{y}_i m_{xy}$, вычисленных при определенных значениях $\tilde{x}_i$, от общего среднего $\bar{y}$.

Средняя ошибка корреляционного отношения оценивается по выражению

$$\sigma_\eta = \frac{1 - \eta^2}{\sqrt{n - 1}}. \quad (4.4.23)$$

Если требуется составить уравнения криволинейной связи, то для этого строится график зависимости величины y от x и устанавливается характер связи, что позволяет подобрать выравнивающую функцию.

Если хотя бы одна из величин задана в виде нечисловых значений, то для установления факта зависимости ее от другой величины можно использовать критерий χ^2 . Для этого по исходной таблице двумерного распределения строится другая таблица в предположении того, что связь между величинами x и y отсутствует. Повторяемости $\tilde{m}_{ij}$ в каждой клетке новой таблицы рассчитываются по выражению

$$\tilde{m}_{ij} = \frac{m_x m_y}{n}. \quad (4.4.24)$$

где m_x и m_y — повторяемость величин x и y в каждой градации.
Критерий χ^2 вычисляется по выражению

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^l \frac{(m_{ij} - \tilde{m}_{ij})^2}{\tilde{m}_{ij}}, \quad (4.4.25)$$

где m_{ij} и $\tilde{m}_{ij}$ — повторяемости в исходной и рассчитанной таблицах.

Найденное значение χ^2 сравнивают с табличным значением при определенном уровне значимости χ_p^2 .

Число степеней свободы k , по которому находятся χ_p^2 , при заданном уровне значимости (обычно $p=0,05$) определяется из соотношения

$$k = (s - 1)(l - 1), \quad (4.4.26)$$

где s — число строк; l — число колонок в таблице.

Если $\chi^2 > \chi_p^2$, то между x и y существует зависимость. Мету этой связи можно определить с помощью коэффициента взаимной сопряженности c :

$$c = \frac{\varphi^2}{\sqrt{(s-1)(l-1)}}, \quad (4.4.27)$$

где $\varphi^2 = \chi^2/n$ — показатель сопряженности; n — число наблюдений.

Для установления зависимости между величинами можно использовать также величину информационного отношения v

$$v = \frac{J}{H(y)}, \quad (4.4.28)$$

где $J = H(y) - H(x)$ — количество информации, передаваемое от фактора x явлению y ; $H(y) = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i$ — абсолютная (климатологическая) энтропия, p_i — вероятность, соответствующая i -му состоянию величины y .

Условная энтропия

$$H(x) = \sum_{j=1}^l P(x_j) \sum_{i=1}^s P(y_{ij}/x_j) \log (y_{ij}/x_j), \quad (4.4.29)$$

где $P(x_j)$ — вероятность j -го состояния величины x ; $P(y_{ij}/x_j)$ — вероятность явления y при заданном значении x_j . Величина информационного отношения показывает, какая доля информации снимается в явлении y , если учитывать фактор x . По величине v можно судить о степени зависимости величины y от факторов x . Чем больше v , тем сильнее зависит y от фактора x .

Для установления существенности влияния одного или комплекса метеорологических факторов на исследуемую величину довольно успешно может быть применен аппарат дисперсионного анализа. При однофакторном дисперсионном анализе существен-

ность влияния устанавливается на основании сравнения вычисленного значения критерия Фишера F с его табличными значениями F_p при определенном уровне значимости p . В этом случае значение F находится из соотношения

$$F = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_z^2}, \quad \text{если } \sigma_f > \sigma_z,$$

$$F = \frac{\sigma_z^2}{\sigma_f^2}, \quad \text{если } \sigma_z > \sigma_f. \quad (4.4.30)$$

Если окажется, что $F > F_p$, то влияние исследуемого фактора существенно.

Дисперсии находятся соответственно по выражениям:

$$\sigma_f^2 = \frac{S_f}{K_f}, \quad \sigma_z^2 = \frac{S_z}{K_z}, \quad \sigma_x^2 = \frac{S_x}{K_x}, \quad (4.4.31)$$

где S_f — взвешенная сумма квадратов отклонений частных средних при определенных градациях x от общего среднего; $S_z = S_x - S_f$ — остаточная сумма квадратов отклонений; $S_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ — полная (общая) сумма квадратов отклонений; $k_f = q - 1$, $k_z = k_x - k_f$, $k_x = n - 1$ — числа степеней свободы, q — число градаций исследуемого фактора, n — общее число наблюдений; S_x — характеризует общую изменчивость величины x , S_f — характеризует изменчивость величины под действием исследуемого фактора f , S_z — характеризует изменчивость, обусловленную влиянием случайных и неучтенных факторов.

На практике суммы квадратов находят по выражениям:

$$S_x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2; \quad (4.4.32)$$

$$S_f = \sum_{j=1}^q \frac{\sum_{i=1}^{m_j} (x_i)^2}{m_j} - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2; \quad (4.4.33)$$

$$S_z = S_x - S_f. \quad (4.4.34)$$

В многофакторном дисперсионном анализе исследование распадается на два этапа. На первом этапе выявляется существенность влияния всех комплексов на исследуемую величину. Это выполняется по формулам, присущим однофакторному анализу. Однако в силу того, что обязательным условием многофакторного анализа является равномерность (а также и случайность) каж-

дого комплекса факторов, то формулы для S_x и S_f несколько видоизменяются и принимают следующий вид:

$$\vee S_x = \sum^q \sum^p x_i^2 - \frac{1}{pq} \left(\sum^q \sum^p x_i \right)^2, \quad (4.4.35)$$

$$\vee S_f = \frac{1}{p} \sum^q \left(\sum^p x_i \right)^2 - \frac{1}{pq} \left(\sum^q \sum^p x_i \right)^2, \quad (4.4.36)$$

где q — число комплексов; p — число случаев в каждом комплексе. Если на первом этапе устанавливается, что $F > F_p$, то приступают к второму этапу, на котором уточняется существенность влияния каждого сочетания факторов на исследуемую величину x .

Это выполняется на основании вычисления критерия Фишера по формуле

$$\vee F = \frac{pq p}{(pq + p) \sigma_z^2} (\bar{x}_q - \bar{x}_{pq})^2, \quad (4.4.37)$$

где $\bar{x}_q$ — среднее значение для данного комплекса; $\bar{x}_{pq}$ — общее среднее.

Комплексы, для которых $F > F_p$, имеют существенное влияние на изменения x . Значение F_p находится исходя из уровня значимости p (обычно 5%-ном) и степеней свободы $k_f = 1$ и $k_z = k_{z_1}$, где k_{z_1} — число степеней свободы, найденное на первом этапе.

Как правило, метеорологические комплексы отражают определенный тип погоды.

+ **Задание 1.** Составить уравнение линейной зависимости между значениями метеорологической величины на двух станциях (или двух метеорологических величин на одной и той же станции). Определить ошибки коэффициентов корреляции и уравнения регрессии (табл. 4.4.1).

Рекомендации к выполнению задания 1

1. Составить таблицу двумерного распределения и при нахождении коэффициента регрессии использовать статистические моменты и условные отклонения. Расчет коэффициента регрессии выполнить по формуле (4.4.5).

2. Средние значения и средние квадратические отклонения рассчитать с помощью статистических моментов.

3. Коэффициент корреляции найти по выражению $r = a \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$.

4. Среднюю ошибку коэффициента корреляции при $n \geq 30$ определить по формуле (4.4.2). Если $n < 30$, то необходимо определить доверительные границы коэффициента корреляции, используя соотношения (4.4.3) и (4.4.4).

5. Ошибку уравнения регрессии найти по выражению $\sigma_{ур} = \sigma_y \sqrt{1 - r^2}$.

Задание 2. Составить уравнение множественной регрессии, оценить точность полученного уравнения, доли вклада каждого аргумента и ошибки коэффициентов регрессии.

Рекомендации к выполнению задания 2

1. Составить таблицы двумерных распределений величин x_i и y , а также x_i и x_j и определить коэффициенты корреляции, средние значения и средние квадратические отклонения с использованием статистических моментов и условных отклонений.
2. Составить и рассчитать определитель по формуле (4.4.8).
3. Определить значения миноров D_{yy} и D_{yx} по формуле (4.4.9).
4. Рассчитать множественный коэффициент корреляции по формуле (4.4.14).
5. Найти значения коэффициентов регрессии по выражению (4.4.7).
6. Оценить доли вклада каждого аргумента по формулам (4.4.17) и (4.4.18).
7. Составить уравнение регрессии.
8. Ошибки коэффициентов регрессии оценить по выражению (4.4.21).
9. Ошибку уравнения оценить по формуле (4.4.16).

Задание 3. Составить уравнение криволинейной зависимости и оценить степень криволинейной связи табл. 4.4.2.

Рекомендации к выполнению задания 3

1. Построить график зависимости и определить вид этой связи.
2. Составить таблицу двумерного распределения и определить среднее значение зависимой переменной, а также ее средние значения для каждой градации аргумента.
3. Значение корреляционного отношения рассчитать по формуле (4.4.24), а его ошибку по формуле (4.4.23).
4. Значения коэффициентов, входящих в выбранную формулу связи, определить с помощью метода наименьших квадратов.

Задание 4. Установить наличие связи между двумя величинами с помощью критерия χ^2 и оценить степень этой связи (табл. 4.4.3).

Рекомендации к выполнению задания 4

1. Составить таблицу двумерного распределения и перейти к другой, значения которой должны получаться в предположении независимости исследуемых величин. Теоретические повторяемости рассчитать по формуле (4.4.24).
2. Найти значение χ^2 по формуле (4.4.25) и сравнить его с табличным значением χ_p^2 при задаваемом уровне значимости (5%-ном) и числе степеней свободы k (формула 4.4.26). Если $\chi^2 > \chi_p^2$, то между сравниваемыми величинами связь есть.
3. Меру связи определить по выражению (4.4.27).

Задание 5. Определить с помощью информационного отношения, с каким из факторов теснее связана исследуемая величина. (табл. 4.4.3).

Рекомендации к выполнению задания 5

1. Построить таблицы двумерного распределения независимой величины с каждым из факторов.
2. Для каждой таблицы найти значения абсолютных энтропий, условных энтропий и информационные отношения по формулам (4.4.28) и (4.4.29).
3. Сравнить информационные отношения и сделать вывод о тесноте связи зависимой величины с исследуемыми факторами.

9 + **Задание 6.** Исследуйте с помощью дисперсионного анализа существенность влияния одной метеорологической величины на другую (табл. 4.4.4).

Рекомендации к выполнению задания 6

1. Выбрать для независимой величины определенные градации и в каждой из них подсчитать суммы значений и суммы квадратов значений зависимой величины.
2. Используя формулы (4.4.30—4.4.34) рассчитать значение критерия Фишера F и сравнить его с табличным значением F_p при заданном (5%-ном) уровне значимости и числах степеней свободы k_f и k_z (табл. 4.4.6). Если $F > F_p$, то влияние одной величины на другую существенно при задаваемом уровне значимости.

+ **Задание 7.** Определить с помощью многофакторного дисперсионного анализа существенность влияния каждого комплекса метеорологических факторов на исследуемую величину (табл. 4.4.5).

Рекомендации к выполнению задания 7

1. Установить число факторов, входящих в комплекс, число комплексов q , их размерность (число случаев p в каждом комплексе) и название.
2. Составить схему многофакторного анализа:

№	Название комплекса	Выборка по комплексу 1, 2, ..., p	$\sum x_i$	$\bar{x}_q$	$(\sum x_i)^2$	$\frac{x_i^2}{1, 2, \dots, p}$	$\sum x_i^2$	$\sum x_i^2$	F	Влияние
1										
2										
...										
...										
q										
			Σ		Σ		Σ			

Значения x_i в каждом комплексе должны быть выбраны случайным образом.

3. Определить существенность совместного влияния всех комплексов, для чего найти значение F , используя формулы (4.4.35—4.4.36) и сравнить его с табличным значением F_p при заданном уровне значимости (5%-ном) и числах степеней свободы k_f и k_z . Если $F > F_p$, то приступают ко второму этапу исследования.

4. Для каждого комплекса определить значение F по формуле (4.4.37) и сравнить их с табличным значением, которые находятся с учетом уровня значимости и чисел степеней свободы $k_f=1$ и k_z . Если $F > F_p$, то для данного комплекса отмечается существенность влияния на исследуемую величину.

Вопросы для самопроверки

1. Как определить вид зависимости между величинами?
2. В каких случаях составляется уравнение регрессии?
3. Как определяется коэффициент регрессии?
4. Как оценивается теснота линейной и нелинейной зависимости?
5. Как определяется ошибка коэффициента корреляции?
6. Как определять ошибки уравнения регрессии?
7. Как определяется эффективность вклада каждого аргумента в уравнение множественной регрессии?
8. Как определяются ошибки коэффициентов регрессии?
9. Как установить наличие зависимости между нечисловыми переменными и определить тесноту связи?
10. В чем сущность использования информационного отношения для установления зависимости между величинами?
11. Как используются однофакторный и многофакторный дисперсионный анализ для выявления зависимости?

Таблица 4.4.1

Повторяемость высоты и температуры нижней границы тропопавзы, ст. Таллинн, май (1961—1964 гг.)

Градации температуры, °С	Градации высоты, км						m_y
	71—80	5,1—9,0	9,1—10	10,1—11	11,1—12	12,1—13	
—69,9 —65,0		1			1		2
—64,9 —60,0			4	22	31		57
—59,9 —55,0		6	43	109	13	1	172
—54,9 —50,0		31	63	20	1		115
—49,9 —45,0	10	19	6				35
—44,9 —40,0	5	1	1				7
m_x	15	58	117	151	46	1	388

Таблица 4.4.2

Зависимость урожая озимой пшеницы (ц/га) от весенних запасов влаги (мм)

Год	Запас влаги	Урожай	Год	Запас влаги	Урожай
1	114	13	30	148	31
2	103	15	31	156	30,5
3	110	19	32	163	31
4	115	18	33	169	29,5
5	122	18	34	175	29
6	126	19	35	177	30
7	130	22	36	190	30,5
8	134	23	37	205	30
9	143	22,5	38	148	34,5
10	207	22	39	154	39
11	212	23	40	162	33
12	116	25,5	41	163	34,5
13	130	25,5	42	165	33
14	136	25,5	43	170	33
15	135	27	44	170	35
16	143	26,5	45	176	33
17	144	25	46	147	37
18	150	25,5	47	153	37,5
19	150	26,5	48	157	37
20	155	26	49	157	38
21	157	28	50	170	37
22	163	27	51	176	37
23	188	27	52	183	37,5
24	195	26	53	184	38
25	213	26,5	54	190	37
26	217	25,5	55	165	41
27	126	30	56	166	42,5
28	137	31	57	172	41,5
29	144	30			

Таблица 4.4.3

Теплопотери (Q Вт/м²) р. Вуоксы в зависимости от дефицита влажности (d гПа) и скорости ветра (v м/с)

Годы	d	v	Q	Годы	d	v	Q
1	2,3	2,2	182	26	5,6	1,5	665
2	2,1	2,5	126	27	5,6	1,5	670
3	1,4	2,0	112	28	5,5	1,0	495
4	2,5	2,2	119	29	5,2	0,0	357
5	2,3	3,3	112	30	5,5	1,3	532
6	3,7	0,0	216	31	5,1	2,0	537
7	4,2	0,0	279	32	5,1	1,0	440
8	4,0	0,0	223	33	5,8	3,2	890
9	2,9	4,2	279	34	5,8	3,2	920
10	2,4	1,8	146	35	5,8	4,5	1010
11	2,8	2,8	223	36	5,3	2,5	564
12	3,7	3,7	391	37	5,3	2,0	600
13	2,5	3,8	237	38	5,6	4,0	770
14	3,9	0,0	244	39	5,5	3,3	648
15	3,8	0,0	237	40	5,5	3,2	655
16	3,6	0,0	216	41	5,7	2,0	845
17	3,6	0,0	146	42	5,7	2,0	755
18	4,2	1,5	356	43	5,1	2,5	625
19	4,0	2,0	287	44	5,1	2,6	648
20	5,3	0,0	462	45	5,3	4,0	873
21	5,2	0,0	462	46	5,3	4,0	720
22	5,2	0,0	468	47	5,3	3,3	648
23	4,3	2,0	343	48	5,3	3,5	698
24	4,8	1,3	371	49	5,2	1,0	495
25	4,7	1,0	371	50	5,2	1,0	508

Таблица 4.4.4

Суммы температур воздуха при различных направлениях ветра.
Ст. Канин Нос, апрель.

	Направление ветра										Σx_i^2
	Штиль	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Всего	
Сумма температур	-133,1	549,2	736,1	658,4	418,4	308,0	236,0	207,3	258,5	3495,0	25442,3
Число наблюдений	30	120	120	120	120	120	120	90	90	930	
Среднее значение	-4,4	-4,6	-6,1	-5,5	-3,5	-2,6	-2,0	-2,3	-2,9	-3,8	

Таблица 4.4.5

Суммы температур воздуха при различных направлениях и скоростях ветра.
Ст. Канин Нос. Апрель.

№ п/п	Направление и скорость ветра, м/с	Сумма температур, ° Σx_i	Средние температуры, ° $\bar{x}$	Сумма квадратов, ° (Σx_i^2)	Квадрат суммы температур, ° Σx_i^2
1	Штиль	-133,1	-4,4	878,2	17715,6
2	С v_1 (1-5)	-125,5	-4,2	627,4	15750,3
3	С v_2 (6-10)	-154,5	-5,2	995,3	23870,3
4	С v_3 (11-15)	-129,5	-4,3	697,4	16770,3
5	С $v_4 > 15$	-139,5	-4,7	768,5	19616,1
6	СВ v_1	-167,9	-5,6	1354,5	28190,4
7	СВ v_2	-181,2	-6,0	1429,5	32833,4
8	СВ v_3	-177,4	-5,9	1387,8	31470,8
9	СВ v_4	-209,6	-7,0	1839,5	43932,2
10	В v_1	-218,3	-7,3	2502,7	47654,9
11	В v_2	-149,9	-5,0	1380,4	22470,0
12	В v_3	-150,8	-5,0	1109,7	22740,6
13	В v_4	-139,4	-4,6	782,9	19432,4
14	ЮВ v_1	-170,1	-5,7	1747,8	28934,0
15	ЮВ v_2	-83,2	-2,8	674,0	6922,2
16	ЮВ v_3	-81,4	-2,7	612,8	6626,0
17	ЮВ v_4	-83,7	-2,8	1251,9	7005,9
18	Ю v_1	-60,6	-2,0	359,4	3672,4
19	Ю v_2	-98,4	-3,3	729,8	9682,6
20	Ю v_3	-67,9	-2,3	411,9	4610,4
21	Ю v_4	-71,1	-2,4	409,0	5055,2
22	ЮЗ v_1	-59,9	-2,0	247,8	3540,3
23	ЮЗ v_2	-76,9	-2,6	416,7	5913,6
24	ЮЗ v_3	-50,4	-1,7	181,3	2540,2
25	ЮЗ v_4	-49,2	-1,6	283,2	2420,6
26	З v_1	-87,3	-2,9	479,7	7621,3
27	З v_2	-32,3	-1,1	123,9	1043,3
28	З v_3	-87,7	-2,9	408,6	7691,3
29	СЗ v_1	-103,7	-3,5	641,2	10753,7
30	СЗ v_2	-83,0	-2,8	396,3	6889,0
31	СЗ v_3	-71,8	-2,4	313,2	5155,2
$n = 31 \times 30 = 930$		-3495,0	-3,7	25442,3	468424,3

Таблица 4.4.6

Критические значения функции Фишера $F = \sigma_1^2/\sigma_2^2$
при 5-процентном уровне значимости

k_2	Степень свободы для большей дисперсии, k_1									
	1	2	3	4	5	10	20	50	100	
1	161	200	216	225	230	242	248	252	253	254
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,39	19,44	19,47	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,78	8,66	8,58	8,56	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	5,96	5,80	5,70	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,74	4,56	4,44	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,06	3,87	3,75	3,71	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,63	3,44	3,32	3,28	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,34	3,15	3,03	2,98	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,13	2,93	2,80	2,76	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	2,97	2,77	2,64	2,59	2,54
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,55	2,33	2,18	2,12	2,07
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,35	2,12	1,96	1,90	1,84
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,24	2,00	1,84	1,77	1,71
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,16	1,93	1,76	1,69	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,07	1,84	1,66	1,59	1,51
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,02	1,78	1,60	1,52	1,44
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	1,99	1,75	1,56	1,48	1,39
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	1,97	1,72	1,53	1,45	1,35
80	3,96	3,11	2,72	2,48	2,33	1,95	1,70	1,51	1,42	1,32
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	1,92	1,68	1,48	1,39	1,28
150	3,91	3,06	2,67	2,43	2,27	1,89	1,64	1,44	1,34	1,22
200	3,89	3,04	2,65	2,41	2,26	1,87	1,62	1,42	1,32	1,19
400	3,86	3,02	2,62	2,39	2,23	1,85	1,60	1,38	1,28	1,13
1000	3,85	3,00	2,61	2,38	2,22	1,84	1,58	1,36	1,26	1,08
	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	1,83	1,57	1,35	1,24	1,00

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДАХ

Цель работы — познакомиться с некоторыми методами изучения цикличности в метеорологических рядах, научиться выявлять коротко- и длиннопериодную цикличность в исследуемых рядах.

Литература

1. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1971.
2. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1966.

Выявление циклических колебаний в климатологических рядах имеет важное практическое значение. В последнее время при исследовании цикличности в метеорологических рядах чаще всего используются методы скользящих средних, интегрально-разностных кривых, автокорреляции, спектрального анализа.

Суть метода скользящих средних заключается в преобразовании исходного ряда $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ в ряд

$$\frac{1}{m} \sum_1^m x_i, \quad \frac{1}{m} \sum_2^{m+1} x_i, \quad \dots, \quad \frac{1}{m} \sum_{n+1-m}^n x_i, \quad (4.5.1)$$

полученный в результате осреднения по m последовательным членам первого ряда.

Продолжительность циклов устанавливается на основании графика временного хода значений преобразованного ряда как расстояние между одноименными экстремумами. Расстояние между соседними экстремумами позволяет судить о короткопериодных циклах, а расстояния между более удаленными, но хорошо выраженными экстремумами дает информацию о длительности длиннопериодных циклов. Для более четкого выделения длительных циклов рекомендуется проводить осреднение по большему числу членов ряда.

Метод интегрально-разностных кривых предполагает формирование ряда, члены которого представляют собой сумму отклонений величины от среднего значения с первого до данного члена k , т. е.

$$y_k = \sum_1^k (x_i - \bar{x}). \quad (4.5.2)$$

В результате такого преобразования в сформированном ряду возрастает роль систематических факторов по сравнению со случайными. Кроме того, амплитуды длиннопериодных колебаний оказываются более увеличенными по сравнению с короткопериодными.

Продолжительность циклов устанавливается на основании построенного графика интегрально разностного ряда. Расстояния между экстремумами определяет длительность циклов.

Метод автокорреляции состоит в вычислении корреляционной функции и анализа ее графика. Расчет значений корреляционной функции выполняется по формуле

$$\rho(\tau) = \frac{\sum \Delta x_i \Delta x_{i+\tau}}{(N-\tau)\sigma^2}, \quad (4.5.3)$$

где $\rho(\tau)$ — значения корреляционной функции, представляющие собой коэффициенты корреляции между членами ряда, отстоящими между собой на промежуток времени $\tau=1, 2, 3, \dots, k$; Δx_i , $\Delta x_{i+\tau}$ — отклонения от среднего значения; σ — среднее квадратическое отклонение; N — длина исходного ряда.

Если в исходном ряду имеется периодичность, то на графике, построенном на основании $\rho(\tau)$, будут видны пики, по которым судят о длине цикла.

Для того чтобы уменьшить изменчивость случайных составляющих и подавить короткие циклы, используется автокорреляционная функция, осредненная за несколько лет, или интегральная автокорреляционная функция.

Метод спектрального анализа состоит в вычислении спектральной функции по выражению

$$S(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \rho(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \quad (4.5.4)$$

где $S(\omega)$ — спектральная функция; $\omega=2\pi/T$ — частота колебаний; T — период колебаний; $\rho(\tau)$ — корреляционная функция.

Анализируя графики $S(\omega)$, можно выделить преобладающие периоды колебаний и оценить масштабы возмущений, которые вносят наибольший вклад в эти колебания.

Довольно часто при вычислении спектральной функции осуществляется сглаживание статистического значения корреляционной функции.

Задание 1. Используя метод скользящего осреднения, выявите в анализируемом ряду имеющиеся циклы и определите их повторяемость.

Задание 2. Используя метод интегрально-разностных кривых, выявите в анализируемом ряду имеющиеся циклы.

Задание 3. Используя метод автокорреляции, выявите в анализируемом ряду имеющиеся циклы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
<i>Предисловие</i>	3
Тема 1. Основные факторы формирования климата	4
Лабораторная работа 1. Основные климатообразующие процессы и факторы	5
Лабораторная работа 2. Роль радиационных факторов в формировании климата	6
Лабораторная работа 3. Роль подстилающей поверхности в формировании климата	36
Лабораторная работа 4. Роль общей циркуляции атмосферы в формировании климата	46
Тема 2. Пространственно-временное распределение полей температуры воздуха, влажности, облачности, осадков	79
Лабораторная работа 1. Термический режим атмосферы	79
Лабораторная работа 2. Режим влажности, облачности и осадков	93
Тема 3. Классификация климатов	116
Лабораторная работа. Классификация климатов по Б. П. Алисову	117
Тема 4. Климатологическая обработка метеорологической информации	121
Лабораторная работа 1. Расчет климатических показателей и оценка их точности	122
Лабораторная работа 2. Проверка рядов на однородность и случайность	143
Лабораторная работа 3. Косвенные методы расчета климатических показателей	168
Лабораторная работа 4. Методы выявления зависимостей между метеорологическими величинами	188
Лабораторная работа 5. Исследование циклических колебаний в метеорологических рядах	202

НИКОЛАЙ ФЕДОРОВИЧ БЕЛОВ
ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ ВАСИЛЬЕВ
ПРАКТИКУМ ПО КЛИМАТОЛОГИИ

Редактор *О. С. Крайнова*
Корректор *С. В. Холина*

Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Лит. гарн. Печать высокая.
Печ. л. 13. Тираж 800 экз. Зак. 256.
ЛГМИ, 195196, Ленинград, Малоохтинский пр., 98

Типография ВСОК ВМФ

THE
JOURNAL
OF
THE
ROYAL
ANTHROPOLOGICAL
INSTITUTE
OF GREAT BRITAIN
AND IRELAND
VOLUME 10
PART 1
1880

CONTENTS
PAGES
The Human Skeleton of the
Cave of Vache, France, by
M. A. H. Newman, Esq.
The Human Skeleton of the
Cave of Vache, France, by
M. A. H. Newman, Esq.
The Human Skeleton of the
Cave of Vache, France, by
M. A. H. Newman, Esq.

THE
JOURNAL
OF
THE
ROYAL
ANTHROPOLOGICAL
INSTITUTE
OF GREAT BRITAIN
AND IRELAND
VOLUME 10
PART 2
1880

