

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.А. Лобанов, А.Б. Лебедев

ПРАКТИКУМ ПО КЛИМАТОЛОГИИ

**Часть 1
(второе издание)**

РГГМУ
Санкт-Петербург
2024

УДК 551.51
ББК 26.237
Л 68

Рецензент: Н.О. Моисеева, к.тех. наук, доц. кафедры АМиЭ, СПбГУ ГА
Рекомендовано Учебно-методическим советом метеорологического факультета
РГГМУ (протокол №5 от 5 января 2024 г.)

Лобанов В.А., Лебедев А.Б.

Л 68 Практикум по климатологии. Учебное пособие. / В.А. Лобанов, А.Б. Лебедев;
[Рос. гос. гидрометеорологический ун-т.] – СПб.: Издательство «НИЦ АРТ»,
2024. – 124 с.

ISBN 978-5-00231-067-8

В «Практикуме по климатологии. Часть 1» представлены четыре лабораторные работы, посвященные двум основным разделам классической климатологии: методам климатологической обработки и факторам формирования климата. Эти разделы формируют первую часть дисциплины «Климатология». Каждая из лабораторных работ включает краткую теоретическую часть, алгоритм выполнения задания и примеры расчетов. Определяется цель, исходный материал для выполнения работы и форма представления результатов. Вторая цель учебного пособия – научить студентов работать с современными программно-информационными технологиями для получения и обработки метеорологической информации и оформления результатов научных исследований.

Практикум предназначен студентам-метеорологам высших учебных заведений, но материал доступен и учащимся техникумов соответствующего профиля.

Lobanov, V.A., Lebedev, A.B. Workshop on climatology. Part I. Textbook. Training Edition. / V.A. Lobanov, A.B. Lebedev; [RSHU]. – St. Petersburg: Nic Art, 2024. – 124 pp.

In "Workshop on Climatology. Part 1" presents four labs dedicated to the three main sections of classical climatology: methods of climatological data processing and factors of climate formation. These sections form the first part of the discipline "Climatology". Each of the laboratory work includes a brief theoretical section, the algorithm is the assignment, and examples of calculations. Target, the source material for the work and the presentation of results are determined. The second objective of the training manual to teach students to work with modern software and information technologies for receiving and processing meteorological data and the results of laboratory work.

Workshop is designed for students of meteorology institutions of higher education, but the material available to students of technical schools and the corresponding profile.

EDN: TUUHWY



ISBN 978-5-00231-067-8

© Лобанов В.А., Лебедев А.Б., 2024.

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2024.

© Издательство НИЦ АРТ, 2024.

Содержание

Введение	7
Тема 1. Климатическая обработка многолетних рядов наблюдений	9
Лабораторная работа 1. Оценка однородности экстремумов эмпирических распределений и стационарности параметров многолетних рядов наблюдений	9
1.1 Теоретические положения	9
1.2 Последовательность расчета	19
1.3 Пример расчета и оформления результатов	21
1.4 Общие рекомендации по обработке данных	27
1.5 Вопросы для самопроверки	35
Лабораторная работа 2. Восстановление пропусков наблюдений и приведение непрерывных рядов к многолетнему периоду	36
2.1 Теоретические положения	36
2.2 Последовательность расчета	38
2.3 Пример расчета и оформления результатов	40
2.4 Вопросы для самопроверки	45
Лабораторная работа 3. Расчет параметров и квантилей распределений климатических характеристик	46
3.1 Теоретические положения	46
3.2 Последовательность расчета	51
3.3 Пример расчета и оформления результатов	57
3.4 Вопросы для самопроверки	61
Литература	61
Тема 2. Факторы формирования климата	62
Лабораторная работа 4. Теоретическое распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы	62
4.1 Теоретические положения	62
4.2 Последовательность расчета	74
4.3 Пример расчета и оформления результатов	76
4.4 Вопросы для самопроверки	77
Литература	78
Приложения. Таблицы статистик критериев	79
Таблица 1. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{1N})	79
Таблица 2. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{2N})	81
Таблица 3. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{3N})	83

Таблица 4. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{4N})	85
Таблица 5. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{5N})	87
Таблица 6. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{11})	89
Таблица 7. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{21})	91
Таблица 8. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{31})	93
Таблица 9. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{41})	95
Таблица 10. α %-ные критические значения статистики Диксона (D_{51})	97
Таблица 11. α %-ные критические значения статистики Смирнова-Граббса (G_N)	99
Таблица 12. α %-ные критические значения статистики Смирнова-Граббса (G_1)	101
Таблица 13. Критические значения статистики Фишера F^* в зависимости от уровня значимости α (%), коэффициентов внутрирядной $r(1)$ и межрядной корреляции R при равных объемах двух выборок	103
Таблица 14. Критические значения статистик F -распределения для нормально распределенных независимых случайных величин при $\alpha= 5\%$	105
Таблица 15. Критические значения статистики Стьюдента t^* в зависимости от уровня значимости α (%), коэффициентов внутрирядной $r(1)$ и межрядной корреляции R при равных объемах двух выборок	106
Таблица 16. Распределение Стьюдента для случайных величин при числе степеней свободы $k=n_x+n_y-2$ и уровне значимости α (%)	108
Таблица 17. Нормированные отклонения от среднего значения ординат распределения Пирсона III типа	109
Таблица 18. Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля	112
Таблица 19. Площадь под кривой стандартного нормального распределения	123

Content

Introduction	7
Topic 1. Climatic treatment of long-term series of observation	9
Lab work 1. Assessing the homogeneity and stationarity of long-term series of observation	9
1.1 Theoretical positions	9
1.2 Sequence of calculations	19
1.3 Example of calculation and presentation of results	21
1.4 General recommendations for processing data	27
1.5 Self-test questions	35
Lab work 2. Restoration of gaps in observations data and reduction of short observational series to a long-term period	36
2.1 Theoretical positions	36
2.2 Sequence of calculations	38
2.3 Example of calculation and presentation of results	40
2.4 Self-test questions	45
Lab work 3. Calculation of parameters and quantiles of distributions of climatic characteristics	46
3.1 Theoretical positions	46
3.2 Sequence of calculations	51
3.3 Example of calculation and presentation of results	57
3.4 Self-test questions	61
References	61
Topic 2. Climate formation factors	62
Lab work 4. Theoretical distribution of solar radiation at the upper limit of the atmosphere	62
4.1 Theoretical positions	62
4.2 Sequence of calculations	74
4.3 Example of calculation and presentation of results	76
4.4 Self-test questions	77
References	78
Applications. Tables of test statistics	79
Table 1. α critical values in the statistics of Dixon (D_{1N})	79
Table 2. α critical values in the statistics of Dixon (D_{2N})	81
Table 3. α critical values in the statistics of Dixon (D_N)	83
Table 4. α critical values in the statistics of Dixon (D_{4N})	85

Table 5. α critical values in the statistics of Dixon (D_{5N})	87
Table 6. α critical values in the statistics of Dixon (D_{11})	89
Table 7. α critical values in the statistics of Dixon (D_{21})	91
Table 8. α critical values in the statistics of Dixon (D_{31})	93
Table 9. α critical values in the statistics of Dixon (D_{41})	95
Table 10. α critical values in the statistics of Dixon (D_{51})	97
Table 11. α critical values in the statistics of Smirnov-Grubbs (G_N)	99
Table 12. α critical values in the statistics of Smirnov-Grubbs (G_1)	101
Table 13. Critical values in Fisher statistics F^* depending on the significance level α , intraseries correlation coefficients $r(1)$ and interseries correlation R with equal volumes of two samples	103
Table 14. Critical values in statistics F -distributions for normally distributed independent random variables with $\alpha = 5\%$	105
Table 15. Critical values in Student's statistics t^* depending on the significance level α , intraseries correlation coefficients $r(1)$ and interseries correlation R with equal volumes of two samples	106
Table 16. Student's distribution for random variables with the number of degrees of freedom $k = n_x + n_y - 2$ and significance level α	108
Table 17. Normalized deviations from the mean of the ordinates of the Pearson type III distribution	109
Table 18. Distribution ordinates of S.N. Kritsky and M.F. Menkel	112
Table 19. Area under the standard normal distribution curve	123

Введение

«Практикум по климатологии (часть 1)» является вторым переработанным изданием этого учебного пособия (Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть I. Учебное пособие. - СПб, изд. РГГМУ, 2011 – 128 с.) и предназначен для изучения климатологии и приобретения практических навыков по разделам курса «Климатическая обработка многолетних рядов наблюдений» и «Теоретическое распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы» с использованием современных программно-информационных технологий для сбора и анализа климатологической информации, оформления результатов научных исследований.

«Практикум по климатологии (часть 1)» включает четыре лабораторных работы.

Первые три работы относятся к теме: «Климатическая обработка многолетних рядов наблюдений». Они посвящены получению и анализу статистических характеристик многолетних климатических рядов в отдельных пунктах наблюдений и имеют следующие названия:

- Оценка однородности экстремумов эмпирических распределений и стационарности параметров многолетних рядов наблюдений;
- Восстановление пропусков наблюдений и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду;
- Расчет параметров и квантилей распределений климатических характеристик.

В лабораторных работах приведены формулы для вычисления расчетных значений статистик критериев и таблицы критических значений статистических критериев и ординат аналитических распределений, позволяющие без привлечения дополнительных источников выполнить статистическое оценивание и расчеты. Исходным материалом для выполнения работы являются архивы многолетних рядов среднемесячных температур воздуха и сумм месячных осадков на сайтах в Интернете:

- <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> ;
- <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> .

Лабораторная работа № 4 «Теоретическое распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы» предназначена для практического определения одного из основных факторов формирования климата – приходящей солнечной радиации. В ходе ее выполнения требуется рассчитать суточную радиацию, приходящую на верхнюю границу атмосферы на заданной широте в течение года, провести ее анализ и определить суммы солнечной радиации за каждый месяц и за калорические полугодия.

Каждая из лабораторных работ включает краткую теоретическую часть, алгоритм выполнения задания и примеры расчетов. Определяется цель работы, исходный материал для выполнения работы и форма представления результатов.

Для более глубокого изучения материала приводится дополнительная литература.

Тема 1. Климатическая обработка многолетних рядов наблюдений

Лабораторная работа № 1: «Оценка однородности экстремумов эмпирических распределений и стационарности параметров многолетних рядов наблюдений»

Цель работы:

научиться оценивать однородность экстремумов эмпирических распределений и стационарность средних значений и дисперсий многолетних рядов климатических характеристик по статистическим критериям с учетом асимметрии и внутрирядной связанности.

1.1 Теоретические положения

Многолетние ряды метеорологических характеристик являются основой для построения эмпирических распределений и определения расчетных климатических характеристик. Прежде чем применять аппарат математической статистики и теории функций распределения, необходимо оценить адекватность временных рядов требуемым предпосылкам этого аппарата. Основные требования состоят:

- в однородности выборки (т.е. требуется, чтобы все элементы выборки относились к одной и той же «генеральной совокупности»);
- в стационарности (или однородности во времени) основных выборочных параметров: среднего значения и дисперсии.

Только при выполнении этих условий можно применять аппарат математической статистики и эффективно определять расчетные климатические характеристики.

Причины нарушения однородности могут быть как методические, так и естественные.

В качестве методических причин нарушения однородности можно назвать следующие:

- замена вида измерительных приборов;

- перенос пункта наблюдений в другое место;
- изменение периодичности и сроков проведения метеорологических наблюдений;
- ошибки в производстве наблюдений.

К естественным причинам нарушения однородности можно отнести изменение условий наблюдения на станции или вблизи нее, например, падение уровня моря, изменение рельефа, гидрографии, ландшафта и т.п.

Статистические методы оценки однородности и стационарности основаны на статистических критериях, которые при сравнении расчетных значений с критическими позволяют принять или отклонить нулевую гипотезу однородности или стационарности. Определение расчетных значений статистик критериев осуществляется по формулам, а критические значения статистик критериев приведены в таблицах, помещенных в приложении данного Пособия. Критическое значение статистики критерия находится из таблиц при заданном объеме выборки (фактическое число лет в анализируемом временном ряду), уровне значимости α (обычно $\alpha=5\%$), а также коэффициентах автокорреляции и асимметрии. В результате, если вычисленное по формуле расчетное значение статистики критерия меньше критического табличного значения, то гипотеза однородности или стационарности принимается, а если больше, то отклоняется.

Прежде всего осуществляется оценка однородности эмпирических распределений метеорологических характеристик, которая может нарушаться из-за резко отклоняющихся от общей совокупности максимальных и минимальных значений. Оценка однородности рядов наблюдений за метеорологическими характеристиками осуществляется на основе генетического и статистического анализа исходных данных наблюдений. Генетический анализ заключается в выявлении физических причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений. Для оценки статистической значимости однородности применяются критерии резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом распределении: статистические критерии Диксона и

Смирнова-Граббса. Существуют три основные причины такой неоднородности:

– резко отклоняющиеся метеорологические величины имеют особые условия формирования, например, сформированы тайфунами, ураганами и т.д., то есть событиями из другой генеральной совокупности;

– экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем та, которая соответствует продолжительности ряда наблюдений;

– резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

Из трех перечисленных причин вторая имеет место чаще всего. Это обусловлено тем, что вероятность экстремума эмпирического распределения определяется из выражения: $p(\text{экстр.})=1/(n-1)*100\%$, где n – продолжительность ряда наблюдений в годах. Поэтому, например, если продолжительность ряда наблюдений всего 20 лет, а в нем имеет место экстремальное событие, фактическая повторяемость которого 1 раз в 100 лет, то оно будет неоднородным экстремумом в эмпирическом распределении, т.к. $p(\text{экстр.})=4,8\%$ при $n=20$ лет, а фактически должно быть $p(\text{экстр.})=0,99\%$ при $n=100$ лет. Поэтому на графике эмпирического распределения $Y=f(p)$ (где Y – температура, осадки или другая климатическая характеристика, p – повторяемость или обеспеченность) этот экстремум будет неоднородным «выбросом». Если же ряд наблюдений будет составлять 100 лет, то этот же экстремум уже не будет неоднородным.

Особенность критериев оценки однородности Диксона и Смирнова - Граббса состоит в том, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения генеральной совокупности и отсутствия автокорреляции. В то же время эмпирические распределения гидрометеорологических характеристик могут иметь асимметрию, и в ряде случаев во временных рядах может иметь место статистически значимая автокорреляция между смежными членами ряда $r(1)$. Для учета таких особенностей гидрометеорологической информации были проведены работы по расширению таблиц статистических критериев, наиболее часто

применяемых в гидрометеорологии (критерии Диксона, Смирнова-Граббса, Стьюдента, Фишера), которые и приведены в Приложении (таблицы 1-12).

Статистики критериев Диксона рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

а) для максимального члена Y_n ранжированной в возрастающем порядке выборки:

$$D1_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_1), \quad (1)$$

$$D2_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_2), \quad (2)$$

$$D3_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_2), \quad (3)$$

$$D4_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_3), \quad (4)$$

$$D5_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_1); \quad (5)$$

б) для минимального члена Y_1 ранжированной в возрастающем порядке выборки:

$$D1_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_n), \quad (6)$$

$$D2_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (7)$$

$$D3_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-1}), \quad (8)$$

$$D4_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-2}), \quad (9)$$

$$D5_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_n), \quad (10)$$

где $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$; n – объем выборки.

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена Y_n рассчитывается по формуле:

$$G_n = (Y_n - Y_{cp}) / \sigma_Y, \quad (11)$$

и для минимального члена Y_1 :

$$G_1 = (Y_{\text{cp}} - Y_1) / \sigma_Y. \quad (12)$$

где Y_{cp} , σ_Y – среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки, определяемые по формулам:

$$Y_{\text{cp}} = \sum Y_i / n, \quad (13)$$

$$\sigma_Y^2 = \sum (Y_i - Y_{\text{cp}})^2 / (n - 1), \quad (14)$$

где σ_Y^2 – дисперсия.

Оценка однородности по критериям состоит в сравнении расчетного значения статистики критерия, полученной по эмпирическим данным (формулы (1) – (12)), с ее критическим значением из таблиц при заданном уровне значимости α , объеме выборки n , коэффициентах автокорреляции $r(1)$ и асимметрии C_s . Уровень значимости обычно задается равным 5 %, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95 %. В результате гипотеза однородности может быть принята в том случае, если расчетное значение статистики меньше соответствующего критического.

Критические значения статистик критерия Диксона приведены в таблицах 1-10 Приложения, а Смирнова-Граббса – в таблицах 11-12 Приложения.

Коэффициенты асимметрии C_s и автокорреляции $r(1)$ определяются по следующим формулам:

$$C_s = \sum (Y_i - Y_{\text{cp}})^3 / [n \sigma_Y^3], \text{ или} \quad (15)$$

$$C_s = n \sum (k_i - 1)^3 / [C_v^3 (n-1) (n-2)],$$

где C_v – коэффициент вариации ($C_v = \sigma_Y / Y_{\text{cp}}$), $k_i = Y_i / Y_{\text{cp}}$;

$$r(1) = \sum (Y_i - Y_{\text{cp}1}) (Y_{i+1} - Y_{\text{cp}2}) / [n \sigma_1 \sigma_2], \text{ или} \quad (16)$$

$$r(1) = \sum (Y_i - Y_{\text{cp}1}) (Y_{i+1} - Y_{\text{cp}2}) / \sqrt{\sum (Y_i - Y_{\text{cp}1})^2 \sum (Y_{i+1} - Y_{\text{cp}2})^2},$$

где $Y_{cp1} = \sum_2^n Y_i / (n - 1)$, $Y_{cp2} = \sum_1^{n-1} Y_i / (n - 1)$.

Параметры распределения $Y_{cp.}$, \bar{Y} , C_s и $r(1)$ можно вычислить в редакторе Excel путем программирования формул (13)-(16) или, используя уже готовые встроенные функции для вычисления статистических параметров. При этом коэффициент автокорреляции можно определить из построения линейной зависимости $Y=f(X)$, где X – это ряд Y , значения которого смещены относительно исходных данных на 1 год, т.е. $X_i = Y_{i+1}$.

После вычисления $r(1)$ необходимо оценить его статистическую значимость, которая характеризует, в том числе, отличие структуры временного ряда от случайной. Критические значения коэффициентов автокорреляции $r(1)_{kp.}$ приведены в таблице 1. Если расчетное значение больше критического, т.е. $r(1) \geq r(1)_{kp.}$, то нулевая гипотеза об отсутствии внутрирядной связанности отклоняется и автокорреляцию следует учитывать. Если $r(1) < r(1)_{kp.}$, то принимается, что $r(1)=0$ и автокорреляция не учитывается.

Таблица 1
Проверка коэффициента автокорреляции на значимость

Число степеней свободы	Уровень значимости	
	5 %	1 %
10	0,576	0,708
11	0,553	0,684
12	0,532	0,661
13	0,514	0,641
14	0,497	0,623
15	0,482	0,606
16	0,468	0,590
17	0,456	0,575
18	0,444	0,561

Число степеней свободы	Уровень значимости	
	5 %	1 %
19	0,433	0,549
20	0,423	0,537
21	0,413	0,526
22	0,404	0,515
23	0,396	0,505
24	0,388	0,496
25	0,381	0,487
26	0,374	0,478
27	0,367	0,470
28	0,361	0,463
29	0,355	0,456
30	0,349	0,449
35	0,325	0,418
40	0,304	0,393
50	0,273	0,354
60	0,250	0,325
70	0,232	0,302
80	0,217	0,283
90	0,205	0,267
100	0,195	0,254
120	0,178	0,232
150	0,159	0,208
200	0,138	0,181
250	0,124	0,162
300	0,113	0,148

Для проверки гипотезы стационарности дисперсий и средних значений временной ряд разбивается на две подвыборки. При этом

ряд можно разбить или на две равные части ($n_1=n_2$, где $n=n_1+n_2$), или по году предполагаемого нарушения стационарности, определяемому либо визуально, анализируя временной график, либо на основе дополнительной информации, например, дате смены регистрирующих приборов, переносе метеостанции и т.д.

Затем по каждой подвыборке вычисляются значения средних $Y_{\text{ср}1}$ и $Y_{\text{ср}2}$ и дисперсий σ_1^2 и σ_2^2 .

Расчетное значение статистики критерия Фишера определяется как отношение дисперсий двух частей временного ряда, причем в числителе должна быть большая из двух дисперсий:

$$F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2 \text{ если } \sigma_1^2 > \sigma_2^2 \quad (17)$$

и

$$F = \sigma_2^2 / \sigma_1^2 \text{ если } \sigma_2^2 > \sigma_1^2.$$

Поэтому расчетное значение F всегда ≥ 1 .

Если объемы подвыборок одинаковы ($n_1=n_2$), то критические значения статистики критерия Фишера F^* в зависимости от уровня значимости α (обычно задается $\alpha=5\%$) и коэффициента внутрирядной корреляции $r(1)$ можно определять интерполяцией из таблицы 13 Приложения. При этом коэффициент межрядной корреляции R принимается равным 0.

Гипотеза о стационарности дисперсий принимается при заданном уровне значимости α , если расчетное значение статистики критерия меньше критического $F < F^*$.

При неравных объемах подвыборок ($n_1 \neq n_2$) можно пользоваться таблицами классического F -распределение для нормально распределенных независимых случайных величин со степенями свободы n_{1F} и n_{2F} , которые зависят от автокорреляции и асимметрии и определяются по формулам:

$$n_{1F} = \frac{n_1 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^2 n_1}{n_1 (1-r^2)} \right]}, \quad (18)$$

$$n_{2F} = \frac{n_2 g}{1 + \frac{2r^2}{1-r^2} \left[1 - \frac{1-r^2 n_2}{n_2 (1-r^2)} \right]}, \quad (19)$$

где g – коэффициент, учитывающий влияние асимметрии исходной совокупности и определяемый по таблице 2; $r=r(1)$ – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда.

Таблица 2

Зависимость коэффициента g от коэффициента асимметрии C_s при определении новых степеней свободы для критерия Фишера

C_s	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
g	1,0	0,82	0,62	0,45	0,30	0,24	0,17	0,14	0,10

Критические значения статистик F -распределения для нормально распределенных независимых случайных величин при $\alpha = 5\%$ приведены в таблице 14 Приложения.

Для оценивания стационарности средних значений определяется расчетное значение статистики критерия Стьюдента по формуле:

$$t = \frac{Y_{\text{срI}} - Y_{\text{срII}}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}}}, \quad (20)$$

где $Y_{\text{срI}}$, $Y_{\text{срII}}$, σ^2 – средние значения и дисперсии двух последовательных подвыборок; n_1 и n_2 – объемы подвыборок.

Если объемы подвыборок одинаковы ($n_1=n_2$), то критические значения статистики критерия Стьюдента t^* в зависимости от уровня значимости α (обычно задается $\alpha=5\%$) и коэффициента внутрирядной корреляции $r(1)$ можно определять интерполяцией из таблицы 15 Приложения. При этом коэффициент межрядной корреляции R принимается равным 0.

Для любых объемов подвыборок критические значения статистики критерия Стьюдента t^* определяются по классической

таблице этого распределения (Таблица 16) при числе степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$, но при этом в полученные табличные критические значения вносится поправка на учет автокорреляции, и они пересчитываются по формуле:

$$(21) \quad t'^* = C_t t^*,$$

где C_t – эмпирический коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициента автокорреляции по таблице 3; t'^* – критическое значение статистики Стьюдента, пересчитанное с учетом автокорреляции.

Оценивание стационарности средних значений по критерию Стьюдента осуществляется путем сравнения расчётного значения статистики критерия Стьюдента, вычисленное по формуле (20), с уже пересчитанным критическим значением t'^* . Если расчетное значение больше критического, гипотеза о стационарности отклоняется.

Таблица 3
Коэффициенты C_t в зависимости от коэффициента
автокорреляции $r(1)$

$r(1)$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,00	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07
0,1	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,17
0,2	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,24	1,26	1,27	1,29	1,31
0,3	1,33	1,34	1,35	1,37	1,39	1,41	1,42	1,44	1,46	1,49
0,4	1,51	1,52	1,54	1,56	1,59	1,67	1,63	1,65	1,68	1,70
0,5	1,72	1,75	1,78	1,81	1,84	1,88	1,92	1,95	1,99	2,03
0,6	2,06	2,07	2,13	2,17	2,21	2,24	2,28	2,32	2,36	2,40

1.2 Последовательность расчета

1. Получить у преподавателя или выбрать (по указанию преподавателя) самостоятельно многолетний ряд наблюдений некоторой метеорологической характеристики с включением последних лет наблюдений и продолжительностью не менее 70 лет.

2. Представить многолетний ряд метеорологической характеристики в графическом виде (см. рисунок 1).

3. Рассчитать параметры ряда: среднее значение Y_{cp} , стандартное отклонение σ_Y , коэффициенты асимметрии C_s и автокорреляции $r(1)$ по формулам (13)-(16) соответственно. Результаты занести в таблицу (см. таблицу 4).

4. Оценить статистическая значимость коэффициента автокорреляции ряда по таблице 1.

5. Проранжировать многолетний ряд метеорологической характеристики в порядке убывания: $Y_n > Y_{n-1} > \dots > Y_2 > Y_1$. Результаты внести в таблицу (см. таблицу 5).

6. Определить по формулам (1)-(10) расчетные значения статистик критериев Диксона.

7. Определить по формулам (11)-(12) статистики параметрических критериев Смирнова-Граббса.

8. Сравнить расчетные значения статистик Диксона и Смирнова-Граббса с критическими (см. таблицы 1-12 Приложения) при уровне значимости 5 % и вычисленных значениях коэффициентов асимметрии и автокорреляции для принятия или отклонения нулевой гипотезы об однородности эмпирического распределения.

9. Разбить ряд наблюдений либо на две не равные подвыборки (по моменту нарушения однородности ряда, определенного визуально), либо на две равные части, в случае, если момент нарушения однородности ряда определить визуально не представляется возможным.

10. Рассчитать для каждой подвыборки средние значения и дисперсии.

11. Определить по формуле (17) расчетное значение статистики критерия Фишера.

12. В случае равных объемов двух подвыборок, определить критические значения статистики Фишера F^* в зависимости от уровня значимости α и коэффициента внутрирядной корреляции $r(1)$ при коэффициенте межрядной корреляции $R=0$ по таблице 13 Приложения.

В случае не равных объемов подвыборок, определить степени свободы по формулам (18)-(19) и коэффициент g по таблице 2, на основе которых найти (по таблице 14 Приложения) критическое значение статистики Фишера F^* .

13. Для вывода о стационарности дисперсий сравнить расчетное значение статистики критерия Фишера с критическим и, если расчетное значение меньше критического, то гипотеза о стационарности дисперсий принимается, если нет – отклоняется.

14. Определить по формуле (20) расчетное значение статистики Стьюдента.

15. В случае равных объемов двух подвыборок, определить критические значения статистики Стьюдента t^* в зависимости от уровня значимости α и коэффициента внутрирядной корреляции $r(1)$ при коэффициенте межрядной корреляции $R=0$ по таблице 15 Приложения.

В случае не равных объемов двух подвыборок, определить критическое значение статистики Стьюдента t^* по таблице 16 Приложения, а затем скорректировать его рассчитав t'^* по формуле (21) с учетом таблицы 3.

16. Для вывода о стационарности средних значений сравнить расчетное значение статистики критерия Стьюдента с критическим и, если расчетное значение меньше критического, то гипотеза о стационарности средних значений принимается, если нет – отклоняется.

1.3 Пример расчета и оформления результатов

Исследуется ряд наблюдений за количеством осадков за ноябрь на метеостанции Новый Порт. Хронологический график ряда наблюдений приведен на рисунке 1.

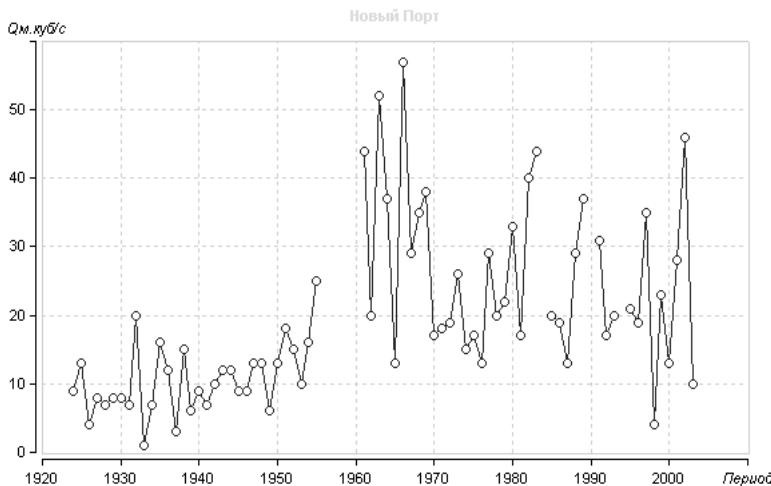


Рисунок 1. Хронологический график количества осадков за ноябрь на метеостанции Новый Порт

Визуальный анализ графика показывает, что в период с начала наблюдений (с 1924 г) до 1955 г значения месячных сумм осадков в среднем были ниже, чем в период с 1961 г по 2003 гг. (в период с 1956 по 1960 гг. — пропуск в наблюдениях в 5 лет и еще отдельные пропуски наблюдений с 1980 по 1995 гг.). Кроме того, наблюдаются резко выраженные максимумы (в 1963, 1966 и 2002 гг.) и минимумы (в 1933, 1937 и 1998 гг.). Общее число лет наблюдений, за исключением пропусков, составляет 72 года.

Первоначально был проведен анализ однородности эмпирического распределения осадков по статистическим критериям

Диксона и Смирнова-Граббса. Для этого были получены значения параметров ряда, представленные в таблице 4.

Таблица 4
Параметры ряда наблюдений сумм осадков за ноябрь
по метеостанции Новый Порт

№	Характеристика	Значение характеристики
1	Среднее значение $Y_{ср}$	19,2 мм
2	Стандартное отклонение σ_Y	9,8 мм
3	Коэффициент асимметрии C_s	0,64
4	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	0,37

При объеме выборки 72 года (числе степеней свободы $n-2=70$) коэффициент автокорреляции $r(1)=0,37$ при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$ является статистически значимым, т.к. он больше критического $r(1)_{kp}=0,232$ из таблицы 1, и его следует учитывать при статистическом оценивании.

Для расчета статистик критериев Диксона ряд наблюдений был ранжирован в порядке убывания. Полученные значения приведены в таблице 5.

Таблица 5
Ряд ранжированных в порядке убывания сумм осадков за ноябрь
по метеостанции Новый Порт

№ п/п	Значение осадков, мм	Год
1	57,0	1966
2	52,0	1963
3	46,0	2002
4	44,0	1961
5	44,0	1983
...
67	6,00	1949

68	4,00	1998
69	4,00	1926
71	3,00	1937
72	1,00	1933

Примечание: в отчете к лабораторной работе таблицу следует привести полностью.

По формулам (1)-(12) определены расчетные значения статистик Диксона и Смирнова-Граббса, которые приведены в таблице 6. Критические значения были получены из таблиц 1-12 Приложения при имеющемся объеме ряда наблюдений (72 года), вычисленным значениям коэффициентов асимметрии и автокорреляции, и принятом уровне значимости 5 %.

Таблица 6
Оценки однородности эмпирического распределения сумм осадков за ноябрь на метеостанции Новый Порт по критериям Диксона и Смирнова-Граббса

Экстремум	Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
max	Диксон 1	0,0893	0,3268	однороден
max	Диксон 2	0,0926	0,3340	однороден
max	Диксон 3	0,2037	0,4102	однороден
max	Диксон 4	0,2075	0,4068	однороден
max	Диксон 5	0,1964	0,4041	однороден
min	Диксон 1	0,0357	0,0629	однороден
min	Диксон 2	0,0392	0,0729	однороден
min	Диксон 3	0,0588	0,0913	однороден
min	Диксон 4	0,0667	0,1006	однороден
min	Диксон 5	0,0536	0,0824	однороден
max	Смирнов - Граббс	3,0692	4,3010	однороден
min	Смирнов - Граббс	1,4754	1,8608	однороден

Вывод: гипотеза об однородных экстремумах эмпирического распределения принимается, т.к. расчетные значения статистик критериев Диксона и Смирнова-Граббса меньше критических.

Следующая часть лабораторной работы посвящена оценке стационарности дисперсий и средних значений. Были рассмотрены два варианта оценивания: при равных и неравных объемах подвыборок.

Анализ в случае равных подвыборок.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений многолетний ряд наблюдений был разбит на две равные подвыборки: первая – с 1924 по 1964 гг., вторая – с 1965 по 2003 гг.

Для каждой подвыборки были рассчитаны средние значения и дисперсии, которые соответственно равны: $Y_{cpI}=13,7$ мм, $\sigma^2_I=115,98$ мм² и $Y_{cpII}=24,6$ мм, $\sigma^2_I=130,75$ мм² и объемы каждой подвыборки $n_1 = n_2 = 36$ лет.

По полученным дисперсиям и средним значениям были определены расчетные значения статистик Фишера (формула (17)) и Стьюдента (формула (20)), которые приведены в таблице 7. Критическое значение статистики критерия Фишера определено из таблицы 13 Приложения при $\alpha=5$, $r(1)=0,37$ и $R=0$ интерполяцией между блоками таблицы $n_x = n_y = 25$ и $n_x = n_y = 50$. Критическое значение статистики критерия Стьюдента определено из таблицы 15 Приложения при $\alpha=5$, $r(1)=0,37$ и $R=0$ интерполяцией между блоками таблицы $n_x = n_y = 25$ и $n_x = n_y = 50$. Критические значения статистик Фишера и Стьюдента также приведены в таблице 7.

Таблица 7
Оценки стационарности средних значений и дисперсий ряда
наблюдений сумм осадков за ноябрь на метеостанции Новый Порт

Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Критерий Фишера	1,1274	1,9141	Стационарен
Критерий Стьюдента	4,1116	2,8580	Не стационарен

Из анализа данных в таблице 7 следует, что расчетная статистика критерия Фишера меньше критической, поэтому вывод о стационарности дисперсий принимается. Однако, расчетное значение статистики Стьюдента значительно превышает его критическое значение, и гипотеза о стационарности средних значений отклоняется с высокой степенью достоверности.

Анализ в случае не равных подвыборок.

Для оценки стационарности дисперсий и средних значений многолетний ряд наблюдений был разбит на две не равные подвыборки по году резкого роста среднего и дисперсии (см. рисунок 1): первая подвыборка – с 1924 по 1955 гг., вторая – с 1961 по 2003 гг.

Для каждой подвыборки были рассчитаны средние значения и дисперсии, которые соответственно равны: $Y_{\text{срI}}=10,7 \text{ мм}$, $\sigma_{\text{срI}}^2=25,61 \text{ мм}^2$ и $Y_{\text{срII}}=26,0 \text{ мм}$, $\sigma_{\text{срII}}^2=149,72 \text{ мм}^2$. По формулам (17) и (20) были определены расчетные значения статистик критерии Фишера и Стьюдента, которые приведены в таблице 8. Для статистики критерия Фишера также были рассчитаны новые степени свободы по формулам (18) и (19) и коэффициенту g из таблицы 2. Критическое значение статистики критерия Фишера определено из таблицы 14 Приложения при $\alpha=5$ и пересчитанных степенях свободы. Критическое значение статистики критерия Стьюдента определено из таблицы 16 Приложения при $\alpha=5$ и общем числе степеней свободы. Критические значения статистик Фишера и Стьюдента также приведены в таблице 8.

Таблица 8

Оценки стационарности средних значений и дисперсий ряда наблюдений сумм осадков за ноябрь на метеостанции Новый Порт при разбиении ряда, исходя из даты предполагаемого нарушения стационарности

Критерий	Расчетное значение	Критическое значение	Вывод
Критерий Фишера	5,9457	1,9494	Не стационарен
Критерий Стьюдента	7,2174	2,8727	Не стационарен

Из сравнения расчетных и критических значений статистик критериев следует, что в отличие от результатов таблицы 7, нестационарность имеет место не только в средних значениях, но и в дисперсиях.

Полученная нестационарность обусловлена сменой приборов для регистрации осадков: дождемера на осадкомер системы Третьякова с лепестковой защитой от выдувания твердых осадков, которая происходила в 1950-е годы. Поэтому измеренные данные по твердым осадкам до 1960 г. следует считать ненадежными, т.к. они выдувались из дождемера, что приводило к уменьшению как среднего значения, так и дисперсии.

1.4. Общие рекомендации по обработке данных

1. Скачивание исходных данных с сайтов.

Многолетние ряды климатических характеристик могут быть получены из архивов, находящихся в свободном доступе на сайте метеорологического института Королевства Нидерланды (KNMI) <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> .

Перейдя по данной ссылке следует выбрать архив и вид информации, для чего поставить указатель напротив интересующей характеристики на вкладке соответствующего архива (рисунок 2). В данном случае выбраны осадки (precipitation) из архива GHCM-M (all).

После выбора вида информации следует ввести индекс станции в рабочее поле «**Select stations / stations with a name containing**» (рисунок 2). Предусмотрена также возможность поиска станций путем ввода координат места или границ района в рабочих полях «**Select stations / stations near**» или «**Select stations / all stations in the region**».

WMO European Climate Assessment & Dataset KNMI
Climate Explorer

Home Help News About World weather Effects of ENSO Climate Change Atlas

Home — Select a monthly time series: Historical observations

Select a monthly time series

Historical observations

GHCN-M (adjusted)	GHCN-M (all)	other
<input type="radio"/> precipitation	<input checked="" type="radio"/> precipitation	<input type="radio"/> OGLOSS sealevel
<input type="radio"/> mean temperature	<input type="radio"/> mean temperature	<input type="radio"/> world river discharge (RIOdis)
<input type="radio"/> minimum temperature	<input type="radio"/> minimum temperature	<input type="radio"/> USA river discharge (HC0N)
<input type="radio"/> maximum temperature	<input type="radio"/> maximum temperature	<input type="radio"/> N-America snowcourses (NRCS)
<input type="radio"/> (full lists)	<input type="radio"/> sealevel pressure	<input type="radio"/> European SLP (ADViCE)

Select stations

* stations with a name containing

* 10 stations near

* all stations in the region

Select a time series

- > Daily station data
- > Daily climate indices
- > Monthly station data
- > Monthly climate indices
- > Annual climate indices
- > View, upload your time series

Select a field

- > Daily fields
- > Monthly observations
- > Monthly reanalysis fields
- > Monthly and seasonal historical reconstructions
- > Monthly seasonal hindcasts
- > Monthly CMIP3+ scenario runs

Рисунок 2. Внешний вид сайта KNMI с выбранными архивом, климатической характеристикой и станцией.

Для получения архивных данных следует нажать на кнопку «**Get stations**» в нижней части рабочего окна, а затем последовательно перейти в открывавшихся окнах по гиперссылкам «**get data**» и «**raw data**». Файл с исходными данными следует сохранить, для чего:

- щелкнуть правой кнопкой «мыши» по свободному полю,
- выбрать в списке команду «**Сохранить страницу как...**»;
- прописать путь к каталогу, в котором следует сохранить файл с данными;
- нажать на кнопку «**Сохранить**» в нижнем правом углу окна.

Многолетние ряды температуры и количества осадков могут быть также получены с отечественного сайта «Погода и климат» на вкладке «Летопись погоды»: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (рисунок 3). Для получения данных следует ввести индекс станции или ее название в соответствующее рабочее поле. Найти станцию возможно также последовательно выбрав страну и административную единицу в нижней части окна.

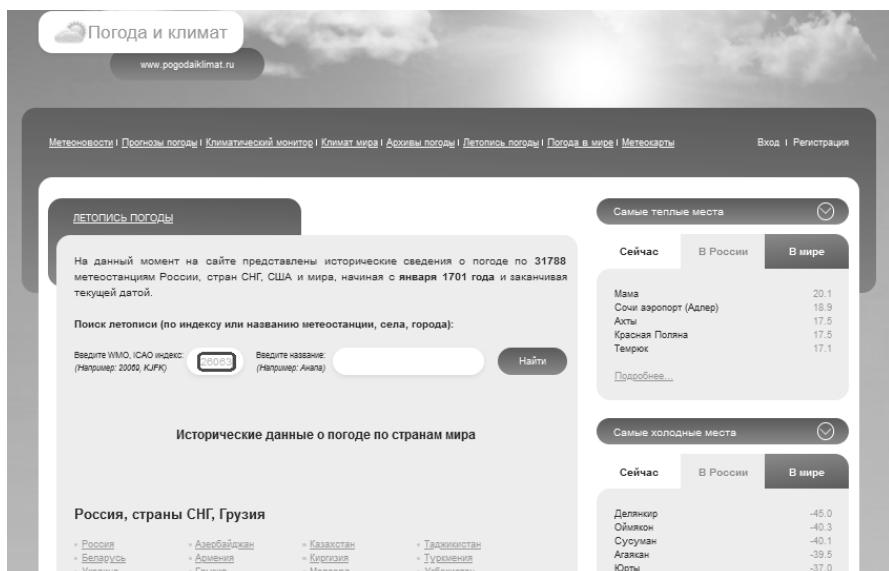


Рисунок 3. Внешний вид сайта «Погода и климат» с выбранной станцией.

После выбора станции на экране появятся средние месячные и годовые температуры воздуха. Чтобы посмотреть суммы выпавших осадков следует нажать на гиперссылку в нижней части окна сайта.

2. Корректное копирование (импорт) исходных данных из файла.

Данные, скачанные с сайта, следует поместить в экселеевский файл. Простое копирование данных из буфера оперативной памяти может привести к сложностям при их дальнейшей обработке.

Для размещения данных следует создать пустой экселеевский файл, и в главном меню последовательно пройти по пунктам **Данные / Получение внешних данных / Из текста**. В открывшемся окне:

- прописать путь к каталогу, в котором находится файл с данными;
- выделить в списке интересующий файл с данными;
- и нажать в правом нижнем углу окна кнопку «Импорт».

В открывшемся диалоговом окне «**Мастер текстов (импорт)** – шаг 1 из 3.» установить указатель напротив строки «Укажите формат данных: / с разделителями» (рисунок 4), и нажать в правом нижнем углу окна кнопку «Далее».

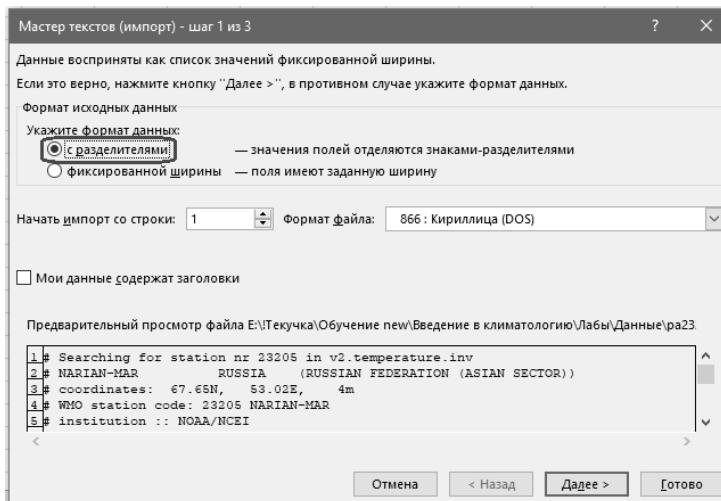


Рисунок 4. Окно в Excel «Мастер текстов (импорт) – шаг 1 из 3.»

В открывшемся диалоговом окне «**Мастер текстов (импорт) – шаг 2 из 3.**» установить указатель напротив строки «Символом-разделителем является: / пробел» (по умолчанию указатель стоит напротив строки «Символом-разделителем является: / знак табуляции», его удалять не следует), и нажать в правом нижнем углу окна кнопку «Далее».

В открывшемся диалоговом окне «**Мастер текстов (импорт) – шаг 3 из 3.**»:

– установить указатель напротив строки «Формат данных столбца: / текстовый»;

– нажать кнопку «**Подробнее**»;

– поменять в открывшемся диалоговом окне «Дополнительные настройки импорта текста» в списке «Разделитель целой и дробной части» запятую на **точку** и нажать в правом нижнем углу окна кнопку «**OK**»;

– нажать в правом нижнем углу диалогового окна кнопку «**Импорт**».

В открывшемся диалоговом окне «Импорт данных» нажать кнопку «**OK**». При этом на листе Excel появится содержимое выбранного ранее файла.

Содержимое листа целесообразно сохранить без изменений на тот случай, если в процессе расчетов что-то пойдет не по плану. Для этого следует выделить название «Лист 1» внизу экрана монитора двойным щелчком «мыши», ввести текст «Исходные данные» и сохранить.

Данные, скачанные с сайта «Погода и климат», следует скопировать в буфер оперативной памяти и предварительно поместить в текстовый файл редактора «Блокнот». Далее следует заменить точки на запятые, для этого:

– вызвать диалоговое окно «Заменить» одновременным нажатием на кнопок «**Ctrl**» и «**H**»;

– поставить в рабочее поле «**Что:**» точку, а в рабочее поле «**Чем:**» – запятую;

– нажать на кнопку «Заменить все».

Для импорта данных в эксельевский файл следует воспользоваться методикой, описанной выше.

2. Некоторые приемы эффективной работы в электронных таблицах Microsoft Excel.

По сути, данные, сохраненные на листе «Исходные данные» являются архивными и остаются в неприкосновенности. Нам надо скопировать их на лист, где будем производить климатическую обработку, для этого:

- выделить содержимое листа «Исходные данные» одновременным нажатием кнопок на клавиатуре «**Ctrl**» и «**A**»;
- скопировать выделенный фрагмент в буфер обмена одновременным нажатием кнопок «**Ctrl**» и «**C**»;
- создать новый лист в документе, для чего щелкнуть правой кнопкой «мыши» по кнопке с изображением «+» в нижней части экрана монитора рядом с названием листа «Исходные данные»;
- вставить содержимое буфера обмена одновременным нажатием кнопок на клавиатуре «**Ctrl**» и «**V**»;
- убедиться, что на листе появились скопированные данные.

В скопированных данных много избыточной информации, которая при выполнении лабораторных работ не понадобится, например, легенда со сведениями о наблюдательной станции, а также, результаты наблюдений за месяцы, которые анализироваться не будут. Удаляется избыточная информация путем последовательного выполнения следующих действий:

- выделить номера соответствующих строк или столбцов курсором;
- щелкнуть правой кнопкой «мыши» по свободному полю;
- выбрать команду «Удалить».

Таким образом, нам удалось оставить два столбца: один – с последовательностью лет, второй – с данными наблюдений. Далее следует внимательно просмотреть данные наблюдений на наличие пропусков. В архивах данных пропуски наблюдений обозначают, как правило, девятками. Если оставить их без изменений, то при расчете климатических характеристик, а также построении графика хронологического хода редактор Excel воспримет эти значения, как числа, поэтому девятки следует удалить (именно удалить, а не

поставить на месте отсутствующих данных ноль, т.к. нулевым может быть значение выпавших осадков).

Быстро получить ответ на любой вопрос по программе Excel можно сформулировав соответствующий запрос в поисковике, например: «Как построить график в Excel (Экселе)». Современные программисты при написании программы используют справку «Help», аналогичная поддержка есть и в Excel, для ее вызова следует нажать на знак вопроса в верхнем правом углу рабочего поля.

В программе Excel уже запрограммированы многие математические, в том числе, и статистические функции. Для их вызова следует зайти на вкладку **«Формулы»** и выбрать пункт меню **«Вставить функцию»**, при этом появится диалоговое окно **«Вставка функции»**, внешний вид которого представлен на рисунке 5.

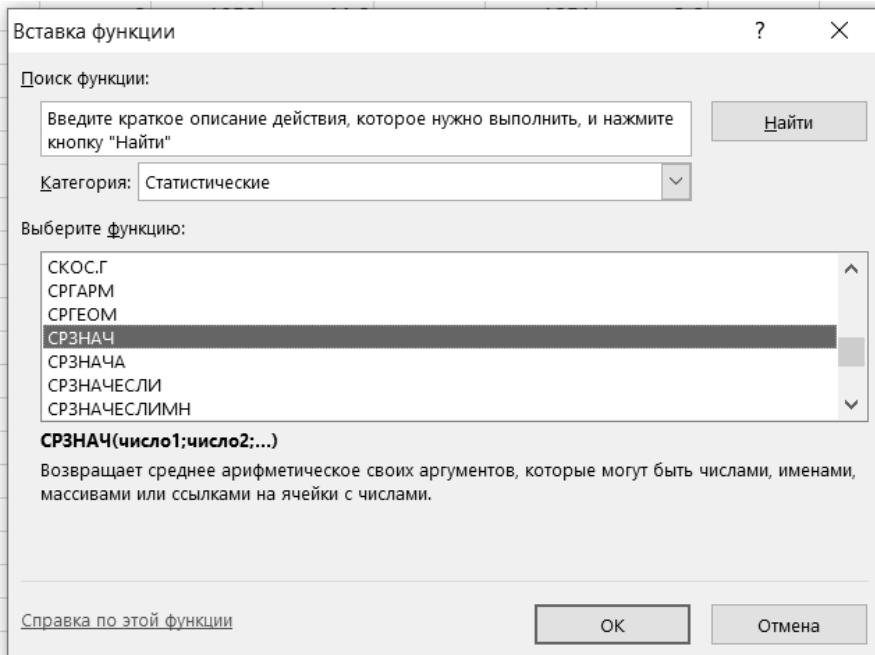


Рисунок 5. Окно в Excel «Вставка функции».

Для выбора функции следует раскрыть список «Категория» и выбрать элемент «Статистические», а затем в появившемся списке выделить нужную функцию и нажать кнопку «OK». При выделении функции под списком появляется синтаксис функции (имена функции и одного или нескольких аргументов) и краткое описание операции, которую данная функция выполняет. Найти требуемую функцию возможно с помощью рабочего поля «Поиск функции», которое расположено в верхней части окна (см. рисунок 5).

Перед вводом формулы следует поставить знак равенства. Если знак равенства будет отсутствовать, то Excel воспримет ввоимые данные, как текст.

Для расчета среднего значения (см. рисунок 5), а также других параметров, предлагается сразу несколько функций, поэтому при выборе функций следует понять, чем они отличаются друг от друга.

При написании программы в Excel следует стремиться к ее универсальности, т.е. к минимальному числу действий для получения результата при смене исходных данных.

Так, например, объем выборки n может быть различным, однако, данный параметр используется во многих формулах, поэтому его целесообразно рассчитывать автоматически. Для этой цели целесообразно применить функцию СЧЁТЕСЛИ. Функция СЧЁТЕСЛИ рассчитывает количество ячеек, отвечающих определенному условию. Синтаксис функции следующий:

СЧЁТЕСЛИ (диапазон; критерий).

Для задания диапазона следует выделить весь столбец, в котором располагаются исходные данные, при этом следует убедиться, чтобы в этом столбце не было каких-либо других значений. Критерий должен быть размещен в двойных кавычках, а само условие охватывать все возможные значения данной метеорологической характеристики. Так, например, для подсчета лет с осадками может быть использована следующая реализация функции:

СЧЁТЕСЛИ (B:B; ">=0").

На момент написания практикума, функции для расчета критериев Диксона в Excel не существовали. Для их реализации требуется 3 максимума и 3 минимума. Наиболее простым решением данной задачи является ранжирование в порядке убывания и в порядке возрастания ряда наблюдений (для ранжирования ряда следует зайти на вкладку «Данные» и выбрать команду «Сортировка»). Максимальные значения берутся из ряда, ранжированного по убыванию, а минимальные – по возрастанию. Более элегантно эту задачу можно решить с использованием функций МАКС и МИН, НАИБОЛЬШИЙ и НАИМЕНЬШИЙ.

Критические значения статистик определяются по таблицам Приложения при заданном уровне значимости α , объеме выборки n , коэффициентах автокорреляции $r(1)$ и асимметрии C_s . В подавляющем большинстве случаев, три последних расчетных параметра не совпадают со значениями, представленными в таблицах. Для их определения целесообразно использовать функцию Excel ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН. Разберем использование данной функции на примере.

Предположим, что объем выборки составляет $n=83$, коэффициент автокорреляции $r(1)=0,0$, коэффициент асимметрии $C_s=0,5$. Необходимо определить критерий статистики Диксона D_{1N} . В таблице 1 Приложения приведены значения критерия для объемов выборки $n=70$ и $n=100$. Использование функции ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН показано на рисунке 6.

Файл	Главная	Вставка	Разметка страницы	Формулы	Данные	Рецензирование	Вид
	ЛИНЕЙН	⋮	×	✓	f _x	=ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН(D2;B2:B3;A2:A3)	
1	n	D1N		D	E	F	G
2	70	0,28	n	83			H
3	100	0,25	D1N	=ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН(D2;B2:B3;A2:A3)			I
4				ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН(x; известные_значения_y; известные_значения_x)			J

Рисунок 6. Пример использования функции ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН

Обратите внимание, что для удобства изменения значений аргументов функции ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН при замене исходных данных, они помещены в отдельные ячейки.

Функцию ПРЕДСКАЗ.ЛИНЕЙН можно использовать для интерполяции значений любых табличных критериев статистик с учетом различных статистических параметров.

1.5. Вопросы для самопроверки

1. Что такое однородность эмпирического распределения?
2. Какие основные причины возможной неоднородности?
3. По каким критериям оценивается однородность и их основные особенности?
4. Что такое обобщенные критерии оценки однородности?
5. Какова последовательность оценки однородности по статистическим критериям?
6. Что такая статистическая значимость параметров распределения и как она оценивается для коэффициентов автокорреляции, асимметрии и других параметров?
7. Что такая оценка стационарности и чем она отличается от оценки однородности?
8. По каким критериям оценивается стационарность средних значений и дисперсий?
9. Что оценивается раньше: стационарность средних или дисперсий и почему?
10. От каких особенностей временных рядов зависят критические значения статистик критериев стационарности средних и дисперсий?
11. Какова последовательность оценки стационарности по статистическим критериям и какие таблицы критических значений могут быть использованы для этого?
12. Какой вывод можно получить, если оценивать однородность асимметричных распределений с помощью статистических критериев, предназначенных для симметричных распределений?

Лабораторная работа № 2: «Восстановление пропусков наблюдений и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду»

Цель работы:

научиться восстанавливать пропуски в наблюдениях и приводить непродолжительные ряды наблюдений к многолетнему периоду по уравнению регрессии с одним аналогом.

2.1 Теоретические положения

Восстановление пропусков наблюдений и приведение непродолжительных рядов наблюдений к многолетнему периоду основано на построении регрессионных уравнений с одним или несколькими предполагаемыми аналогами, которые имеют как более продолжительный период наблюдений, так и данные наблюдений в те годы, которые были пропущены на рассматриваемой станции.

Уравнение множественной линейной регрессии имеет следующий вид:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_j Y_j + \dots + k_l Y_l, \quad (22)$$

где Y – значения метеорологической величины в восстанавливаемом пункте; Y_j – значения метеорологической величины в пунктах-аналогах; k_0 – свободный член уравнения; k_j – коэффициенты уравнения регрессии ($j = 1, 2, \dots, l$); l – число пунктов-аналогов.

Условие построения эффективного уравнения (22), на основе которого можно восстанавливать данные, состоит в том, чтобы коэффициенты k_j были статистически значимы, а коэффициент множественной корреляции уравнения R был не меньше 0,7, т.к. при $R=0,7$ стандартная погрешность восстановления составляет 51%, что следует из уравнения:

$$\sigma_e = \sigma_Y \sqrt{1 - R^2}, \quad (23)$$

где σ_e – среднее квадратическое отклонение остатков (разностей между фактическими и расчетными значениями); σ_Y – стандартное (среднее квадратическое) отклонение приводимого к многолетнему периоду ряда.

Тогда отношение $(\sigma_e/\sigma_Y)^2$ умноженное на 100% характеризует относительную погрешность расчетного значения. При $R=0,7$ погрешность будет равна 51%, при $R=0,8$ погрешность – 36% и т.д. В связи с тем, что осадки хуже связаны по территории, чем температура воздуха, для них надо задавать предельное минимальное значение $R=0,7$, а для температуры его следует задавать выше, т.к. ряды температур имеют большую корреляцию в пространстве, $R=0,85$ при котором относительная наибольшая погрешность восстановленного значения будет равна 28%.

Еще одно важное условие эффективности уравнения (22) – это достаточное число лет совместных наблюдений для построения уравнения. При одном аналоге такое число лет должно быть не меньше $n \geq 6$, а при двух и более аналогах – не менее $n \geq 10$.

При применении для расчета коэффициентов k_j уравнения (22) метода наименьших квадратов (МНК) постулируется, что погрешности имеют место только в Y , т.е. в пункте восстановления, а в пунктах-аналогах погрешности метеорологических величин отсутствуют. Вместе с тем погрешности есть и в пунктах-аналогах и поэтому необходимо корректировать восстановленные величины, иначе их дисперсия будет систематически занижена. Для корректировки применяется формула:

$$Y' = (Y - Y_{cp}) / R + Y_{cp}, \quad (24)$$

где Y – восстановленное значение по уравнению (22), Y' – откорректированное восстановленное значение, Y_{cp} – среднее значение приводимого ряда за совместный с пунктом-аналогом период.

Поэтому в результате корректировка восстановленные значения, которые больше среднего будут увеличены, а которые меньше – уменьшены, что и даст увеличение дисперсии.

Получить восстановленное значение важно, но недостаточно. Вторым немаловажным аспектом восстановления является получение оценок его эффективности. Для оценки эффективности рассчитываются следующие показатели:

- стандартная погрешность восстановления σ_e по уравнению (23);
- количество восстановленных лет (абсолютное Δn и относительное $\Delta n'(\%) = (N-n) / n * 100\%$, где n – число лет до восстановления, N – число лет после восстановления);
- отношение дисперсии восстановленных значений к дисперсии наблюденных значений (критерий Фишера), характеризующее однородность восстановления;
- критерий Стьюдента для оценки однородности среднего восстановленных значений по отношению к среднему наблюденных данных.

При этом следует отметить, что два последних показателя оценки однородности средних и дисперсий имеют значение в том случае, если число наблюденных и восстановленных данных примерно одинаковое и не меньше 20–30.

2.2. Последовательность расчета

1. Получить у преподавателя или выбрать, по указанию преподавателя, самостоятельно два многолетних ряда наблюдений, один из которых имеет меньшую продолжительность наблюдений n и является коротким восстанавливаемым рядом наблюдений Y , а другой большую продолжительность наблюдений N , и является продолжительным рядом-аналогом X . Этими рядами могут быть:

- ряды среднемесячных температур воздуха за один и тот же месяц на двух разных, находящихся рядом, метеостанциях.
- ряды сумм осадков за один и тот же месяц на двух разных, находящихся рядом, метеостанциях.

Основными критериями для выбора станции-аналога с более продолжительным рядом наблюдений являются:

– высокая корреляции между рядами: с $R \geq 0,7$ для осадков и с $R \geq 0,80 \div 0,85$ для температуры воздуха;

– совместный период наблюдений, за который строится уравнение, $n \geq 10$ лет.

2. Определить коэффициенты уравнения связи между коротким Y и продолжительным X рядами наблюдений за совместный период n' :

$$Y = k_0 + k_1 X, \quad (25)$$

где

$$k_1 = [\sum (Y_i - Y_{cp})(X_i - X_{cp})] / (\sum (X_i - X_{cp}))^2, \quad (26)$$

$$k_0 = Y_{cp} - k_1 X_{cp}. \quad (27)$$

Для определения коэффициентов уравнения регрессии k_1 и k_0 целесообразно использовать функции редактора Excel: «Вставка» – «Точечная диаграмма» – «Экспресс-макет» и выбрать макет с графиком и уже построенным уравнением. Кроме коэффициентов k_1 и k_0 на этом макете есть также коэффициент детерминации R^2 , который равен квадрату коэффициента корреляции, и на его основе и по среднему квадратическому отклонению (СКО) приводимого ряда по формуле (23) возможно рассчитать стандартную погрешность восстановления σ_ε .

3. Рассчитать по формуле (25) значения Y за период $(N-n)$.

4. Рассчитать по формуле (24) откорректированные значения Y' за период $(N-n)$ с учетом поправки на уменьшение дисперсии.

5. Представить в таблице восстановленные данные без поправки и с поправкой.

6. Построить совместный многолетний график наблюденных и восстановленных данных, выделив восстановленные данные другим цветом.

7. Рассчитать и занести в таблицу показатели эффективности восстановления:

– абсолютное количество восстановленных лет Δn ;

– относительное количество восстановленных лет $\Delta n' (\%)$;

- средние значения наблюденных и восстановленных данных ряда Y ;
- дисперсии наблюденных и восстановленных данных ряда Y ;
- расчетное значение статистики критерия Фишера для оценивания однородности дисперсий восстановленных и наблюденных данных;
- расчетное значение статистики критерия Стьюдента для оценивания однородности средних значений восстановленных и наблюденных данных.

2.3. Пример расчета и оформления результатов

Для восстановления пропусков наблюдений выбраны многолетние ряды среднемесячных температур августа на двух метеостанциях:

- короткий ряд наблюдений – метеостанция Щербакуль (1969-2023 гг), $n=55$ лет;
- продолжительный ряд-аналог – метеостанция Омск (1896-2023 гг), $N=128$ лет.

За совместный период наблюдений $n=55$ лет построен график зависимости и получены коэффициенты уравнения регрессии и коэффициент детерминации (рисунок 7).

Полученное уравнение регрессии для восстановления пропусков наблюдений имеет вид:

$$Y = 1.0098 X + 0.0963. \quad (28)$$

Коэффициент парной корреляции R между двумя рядами за совместный период равен 0,988. Средняя квадратическая погрешность восстановления σ_e , рассчитанная по формуле (23), равна $0,26^{\circ}\text{C}$, СКО ряда σ_Y равно $1,70^{\circ}\text{C}$.

По уравнению (28) восстановлены среднемесячные температуры августа Y_e на метеостанции Щербакуль за период 1896-1968 гг. и пересчитаны по формуле (24) с учетом поправки на увеличение дисперсии восстановленных данных Y'_e при среднем значении за период наблюдений $Y_{cp} = 16,9^{\circ}\text{C}$.

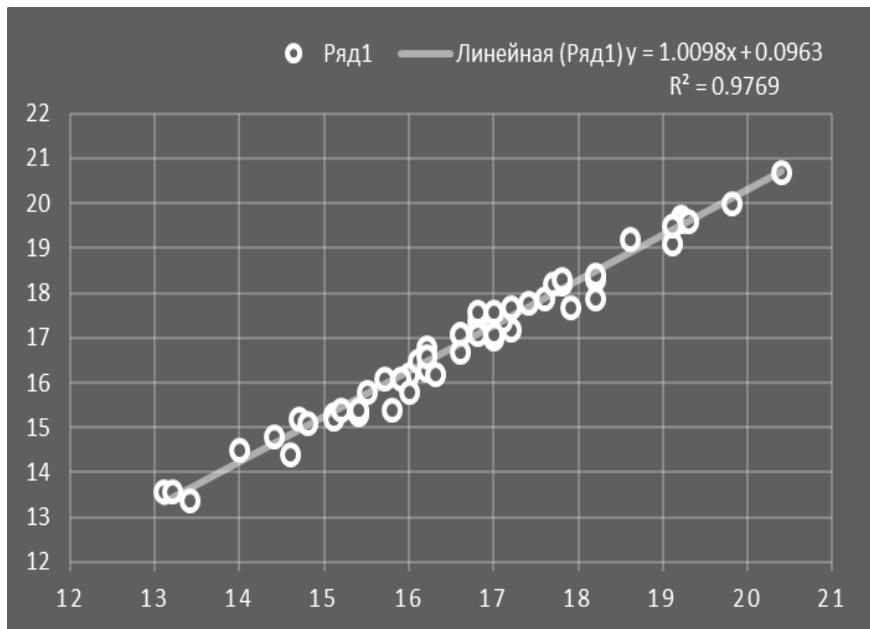


Рисунок 7. Зависимость между температурами августа на метеостанциях Щербакуль Y и Омск X за период 1969-2023 гг.

Результаты восстановления без поправки и с поправкой приведены в таблице 9 с точностью до двух цифр после запятой для того, чтобы продемонстрировать отличие в восстановленных данных без поправок и с поправками. Обычно температура приводится с точность до $0,1^{\circ}\text{C}$, но в данном случае в связи с высоким коэффициентом корреляции и малым отличием восстановленных данных без поправок и с поправками их точность представления увеличена до $0,01^{\circ}\text{C}$.

Из результатов таблицы следует, что восстановленные значения с поправками несколько выше, чем без поправок при их значениях выше среднего $Y_{cp} = 16,9^{\circ}\text{C}$ и ниже, чем без поправок, если температуры ниже среднего.

Таблица 9.

Восстановленные среднемесячные температуры августа
на метеостанции Щербакуль за период 1896-1968 гг. без поправок Y_e и
с поправками на увеличение дисперсии восстановленных данных Y'_e .

Год	Y_e	Y'_e	Год	Y_e	Y'_e	Год	Y_e	Y'_e
1896	17.06	17.06	1920	17.57	17.57	1944	15.85	15.84
1897	16.35	16.35	1921	15.34	15.33	1945	17.26	17.27
1898	15.95	15.94	1922	15.55	15.53	1946	14.74	14.71
1899	18.98	19.00	1923	19.38	19.41	1947	15.14	15.12
1900	16.56	16.55	1924	16.46	16.45	1948	15.85	15.84
1901	15.34	15.33	1925	17.46	17.47	1949	19.28	19.31
1902	18.88	18.90	1926	15.75	15.73	1950	15.95	15.94
1903	15.95	15.94	1927	16.76	16.76	1951	15.75	15.73
1904	17.87	17.88	1928	16.15	16.14	1952	18.07	18.08
1905	16.15	16.14	1929	16.05	16.04	1953	17.77	17.78
1906	19.38	19.41	1930	15.45	15.43	1954	16.56	16.55
1907	20.60	20.64	1931	18.47	18.49	1955	16.56	16.55
1908	16.86	16.86	1932	16.46	16.45	1956	17.57	17.57
1909	16.15	16.14	1933	17.67	17.68	1957	16.96	16.96
1910	18.07	18.08	1934	16.86	16.86	1958	17.57	17.57
1911	14.54	14.51	1935	17.46	17.47	1959	14.33	14.30
1912	13.73	13.69	1936	14.74	14.71	1960	14.44	14.41
1913	16.76	16.76	1937	14.94	14.92	1961	15.95	15.94
1914	17.97	17.98	1938	16.56	16.55	1962	15.85	15.84
1915	18.07	18.08	1939	13.83	13.79	1963	15.04	15.02
1916	15.95	15.94	1940	17.57	17.57	1964	16.56	16.55
1917	12.72	12.67	1941	14.64	14.61	1965	15.55	15.53
1918	19.69	19.72	1942	16.46	16.45	1966	18.17	18.19
1919	16.25	16.25	1943	17.36	17.37	1967	15.14	15.12
						1968	16.25	16.25

Совместный многолетний график среднемесячных температур воздуха на метеостанции Щербакуль, включающий как наблюденные, так и восстановленные данные, приведен на рисунке 8.



Рисунок 8. Многолетний ряд среднемесячных температур июля на метеостанции Щербакуль, включающий наблюденный (ряд 1) и восстановленные (ряд 2) данные

Оценки эффективности восстановления данных приведены в таблице 10.

Выводы:

- восстановлена температура июля за 73 года (с 1896 по 1968 гг.),
- эффект восстановления составляет 132,7%,
- стандартная погрешность восстановления составляет 0,26 °C,

Таблица 10.
Оценки эффективности восстановления пропусков наблюдений и приведения к многолетнему периоду ряда среднемесячных температур июля на метеостанции Щербакуль

Наименование станции		Количество фактических лет		Количество восстановленных лет		Эффект восстановления, %		Средняя погрешность восстановления, °C		Стандартное отклонение исходных данных		Стандартное отклонение восстановленных данных		Статистика критерия Фишера		Среднее исходных данных		Среднее восстановленных данных		Статистика критерия Стьюдента	
Щербакуль	55	73	132,7	0,26	1,7	1,5	1,56	16,9	16,6	1,29											

– отношение стандартных отклонений наблюдённых и восстановленных данных составляет 1,25, что даёт статистику критерия Фишера 1,56, что меньше критического и позволяет принять гипотезу об однородности дисперсий;

– разность средних значений наблюдённых и восстановленных рядов составляет 0,3, что даёт статистику критерия Стьюдента 1,29, что меньше критического и позволяет принять гипотезу об однородности средних.

2.4. Вопросы для самопроверки

1. С помощью какого метода восстанавливаются пропуски наблюдений и увеличивается продолжительность ряда и какие природные закономерности лежат в его основе?
2. Что включают в себя задаваемые условия эффективности уравнения регрессии?
3. Что такое эффект смещенности дисперсии в восстановленных данных и как он исключается?
4. Какие показатели служат для оценки эффективности восстановленных *данных*?
5. Что такое ряд-аналог?
6. Какова последовательность восстановления данных по аналогу?
7. Как рассчитать коэффициент корреляции уравнения связи с аналогом в редакторе Excel?
8. Как рассчитать стандартную погрешность восстановленных данных через коэффициент корреляции уравнения связи с аналогом?

Лабораторная работа № 3:

«Расчет параметров и квантилей распределений климатических характеристик»

Цель работы:

научиться строить эмпирические распределения (дифференциальное и интегральное), рассчитывать параметры и осуществлять аппроксимацию аналитическими распределениями с целью получения расчетных климатических характеристик (квантилей распределения редкой повторяемости).

3.1 Теоретические положения

Обработка и анализ климатической информации, выполненный в предыдущих лабораторных работах, по сути предназначены для того, чтобы надежно определить параметры распределения и расчетные климатические характеристики редкой повторяемости (1 раз в 100 лет и реже).

Процедура определения расчетных климатических характеристик состоит в аппроксимации эмпирических распределений аналитическими функциями, с которых и определяются события редкой повторяемости. Причина применения аналитических функций распределения заключается в следующем: аналитическая функция определена на всем интервале вероятностей и, если она эффективно аппроксимирует эмпирическое распределение, то следует ожидать, что и в области редких повторяемостей за пределами эмпирических значений результаты также будут эффективны.

Методика определения расчетных климатических характеристик реализуется при выполнении трех основных шагов:

- построение эмпирического распределения;
- расчет параметров распределения по эмпирическим данным;
- аппроксимация эмпирического распределения аналитическим законом и определение расчетных климатических характеристик.

На первом шаге строится эмпирическое распределение в виде частотного (дифференциального) распределения (или гистограммы) и в виде интегрального (кумулятивного) распределения.

Для построения частотного распределения весь диапазон изменения метеорологической характеристики от минимального до максимального значения следует разбить на одинаковые интервалы. Число интервалов или градаций s обычно определяется как квадратный корень из общего числа лет наблюдений n : $s=(n)^{1/2}$. Затем определяют число случаев m_k метеорологической характеристики, попадающих в каждый k -ый интервал, и вычисляют относительные частоты (или относительное число значений) в каждом k -ом интервале по формуле:

$$v_k = m_k / n, \quad (29)$$

где: v_k – частота попадания метеорологической характеристики в k -ый интервал (в долях от 1), $k = 1, \dots, s$.

Необходимо помнить, что если метеорологическая характеристика попадает точно на границу интервала, то ее следует отнести к предыдущей градации.

Рассчитанные таким образом значения частот для всех градаций можно представить в виде ступенчатой кривой графически, откладывая по оси абсцисс интервалы, а по оси ординат – частоты. Такой график называется гистограммой или частотным распределением и представляет собой дифференциальную форму эмпирического распределения (рисунок 9).

На основе дифференциальной формы можно определить наибольшую частоту (модальное значение) и оценить асимметричность эмпирического распределения.

Значения частот можно выразить как в долях единицы, так и процентах. Если середины интервалов частот соединить ломаной линией, то мы получим дифференциальное распределение вероятностей, которое тем ближе к истинному распределению, чем больше число интервалов и чем меньше диапазон каждого интервала.

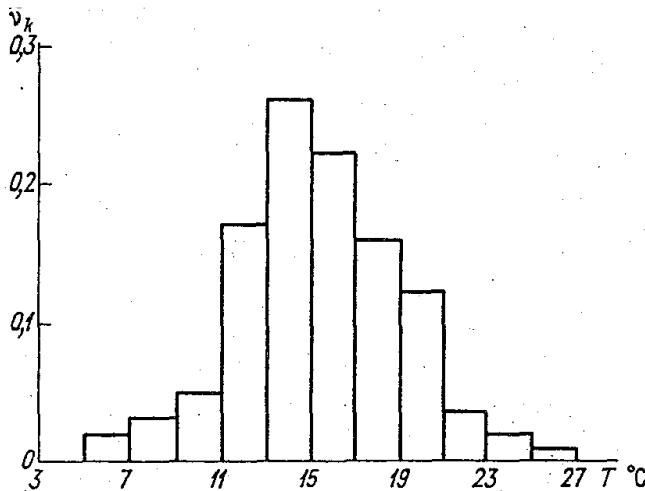


Рисунок 9. Гистограмма распределения средних температур воздуха июля в 21 час в г. Санкт-Петербург

Кумулятивное или интегральное распределение представляет собой зависимость между ранжированными по убыванию (от максимума к минимуму) климатическими характеристиками и соответствующими им обеспеченностями, которые рассчитываются по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\%, \quad (30)$$

где P_m – эмпирическая ежегодная вероятность непревышения метеорологической характеристики m – порядковый номер членов ряда метеорологической характеристики, расположенных в убывающем порядке; n – общее число членов ряда (фактическое число лет наблюдений).

Шкала P_m (в %) обычно задается неравномерной, линеаризующей вид аналитического распределения, применяемого для аппроксимации. С одной стороны, это удобно для оценки соответствия эмпирического распределения выбранному

аналитическому распределению, т.к. при соответствии эмпирическое распределение будет представлено прямолинейной зависимостью. С другой стороны, неравномерная горизонтальная шкала позволяет увеличить области малых и больших обеспеченностей для оценки эффективности аппроксимации именно в зоне определения расчетных климатических характеристик редкой повторяемости. Ранее такие заготовки линеаризуемых вероятностей разных распределений назывались клетчатками вероятностей. Пример интегрального распределения показан на рисунке 10.

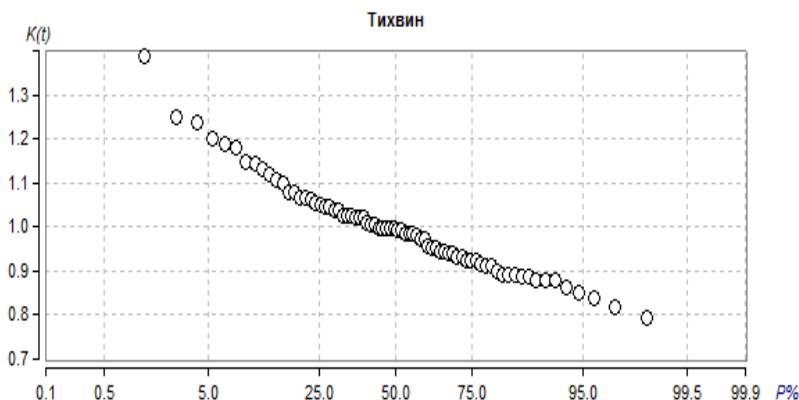


Рисунок 10. Эмпирическое распределение относительных среднемесячных температур воздуха июля (по отношению к среднему значению) в г. Тихвине

В настоящей работе будет рассматриваться неравномерная шкала P_m в %, соответствующая нормальному закону распределения, т.е. логарифмическая шкала по основанию натурального логарифма относительно середины распределения при $P_m=50\%$, (см. формулу дифференциального вида нормального распределения в учебнике Лекции по климатологии, часть 1, книга 1). Эта шкала практически может быть получена по ординатам z стандартизированного нормального распределения, приведенных в таблице 19 Приложения и получаемых на основе P_m , вычисленных по формуле (29).

На втором шаге рассчитываются параметры распределения: среднее значение Y_{cp} , коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s методом моментов, что было выполнено ранее в 1-ой лабораторной работе по формулам (13)–(15). Здесь же следует напомнить, что коэффициент вариации C_v – это нормированное СКО (σ_Y), рассчитываемое по формуле:

$$C_v = \sigma_Y / Y_{cp} . \quad (31)$$

На третьем шаге для сглаживания и аппроксимации эмпирических кривых распределений, как правило, применяется аналитическое распределение Пирсона 3-го типа, имеющее 3 параметра (среднее значение, коэффициенты вариации и асимметрии) и пределы изменения случайной величины от $-\infty$ до $+\infty$. При отношении коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации $C_s/C_v \geq 2$ распределение Пирсона 3-го типа может уходить в область отрицательных значений, что не является подходящим при аппроксимации гидрометеорологических характеристик, принимающих только положительные значения (например, осадки, солнечная радиация, речной сток и другие). Поэтому для аппроксимации применяется также усеченный вариант распределения Пирсона 3-го типа с изменением случайной величины от 0 до $+\infty$, который получил название распределения Крицкого–Менкеля.

Нормированные ординаты распределения Пирсона 3-го типа приведены в таблице 17 Приложения, а относительные ординаты распределения Крицкого–Менкеля – в таблице 18 Приложения.

Для распределения Пирсона 3-го типа в Таблице 17 в зависимости от обеспеченности P и коэффициента асимметрии C_s приведены нормированные ординаты распределения $\Phi(P, C_s) = (Y_p - Y_{cp}) / \sigma$ и к абсолютным значениям ординат распределения Y_p осуществляется переход по формуле:

$$Y_p = \Phi(P, C_s) \sigma + Y_{cp} . \quad (32)$$

Для распределения Крицкого–Менкеля (Таблица 18 Приложения к Практикуму) имеет место не один, а несколько блоков таблиц для разных отношений C_s/C_v (от 0 до 3,0 с шагом 0,5) и нормированные ординаты $\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$. Поэтому для получения Y_p следует просто умножить Φ на Y_{cp} .

Если табличные значения параметров точно не соответствуют рассчитанным по формулам, то следует осуществлять линейную интерполяцию (между строками, столбцами и блоками таблиц).

Результатом климатических расчетов являются полученные квантили распределений заданной расчетной обеспеченности. При этом значения расчетных обеспеченностей зависят от требуемой надежности в применении расчетной характеристики. Наиболее распространенными являются расчетные обеспеченности в 1% и 0,5% в верхней части кривой распределения для максимальных расчетных значений и симметричные им обеспеченности в 99% и 99,5% в нижней части кривой для минимальных расчетных значений. Эти обеспеченности соответствуют повторяемости редкого события 1 раз в 100 лет (1% или 99%) и 1 раз в 200 лет (0,5% или 99,5%). Поэтому, полученные с кривой распределения расчетные значения должны гарантировать отсутствие больших экстремумов, чем вычисленный соответственно в течение 100 и 200 лет.

3.2. Последовательность расчета

1. Получить у преподавателя или выбрать самостоятельно многолетний ряд метеорологической характеристики и файл-заготовку для выполнения работы.

2. Проранжировать многолетний ряд метеорологической характеристики в порядке убывания (от наибольшего значения к наименьшему) вместе с годом при каждом ранжированном значении.

3. Разбить весь диапазон изменения метеорологической характеристики на s градаций одинаковой длины, где $s=(n)^{1/2}$ и n – число лет наблюдений, и для каждой градации рассчитать относительную частоту по формуле (29).

4. Построить гистограмму частот в виде зависимости между частотой и серединой каждого интервала (см. рисунок 9) и определить на ее основе модальное значение.

5. Рассчитать обеспеченности, соответствующие каждому ранжированному значению, по формуле (30).

6. Скопировать свои данные в файле-заготовке в область «Исходные данные» в поля «Значения» и «Годы» и в область «Эмпирика» в поля: « $P, \%$ », «значения» и «годы» (рисунок 10).

7. Определить из таблицы 19 значения ординат стандартизированного нормального распределения ($\mu=0$, $\sigma=1$) Z_i с точностью до 0,01 по P_i , выраженным в долях 1.

Температура воздуха в се						
Исх. данные		Эмпирика				
значения	годы	p, %	z	значения	годы	
16.3	1953	1.39	-2.2	23.2	2015	
19.4	1954	2.78	-1.91	22.9	1994	
18.7	1955	4.17	-1.73	22	2017	
14.7	1956	5.56	-1.59	21.7	2010	
20.4	1957	6.94	-1.48	21.4	2007	
15.2	1958	8.33	-1.38	21.3	2012	
15.2	1959	9.72	-1.3	21.3	2020	
15.8	1960	11.11	-1.22	20.9	2023	
16.1	1961	12.50	-1.15	20.5	2005	
19.1	1962	13.89	-1.09	20.4	1957	
19.2	1963	15.28	-1.02	20.4	1971	
17.7	1964	16.67	-0.97	20.1	2002	
18.3	1965	18.06	-0.91	19.9	2018	
16.8	1966	19.44	-0.86	19.8	2014	
17.8	1967	20.83	-0.81	19.7	1968	
19.7	1968	22.22	-0.76	19.7	2006	
17.6	1969	23.61	-0.72	19.4	1954	
17	1970	25.00	-0.67	19.4	1984	

Рисунок 10. Области «Исходные данные» и «Эмпирика» в файле-заготовке

В связи с тем, что нормальное распределение является симметричным относительно центра распределения, то Z_i – ординаты можно рассчитывать только для половины ряда, а для второй половины они будут симметричны, но с другим знаком. При этом следует обратить внимание на заголовок таблицы 19, где написано, что $-Z=f(P)$ при $P<0,5$ и $Z=f(1-P)$ при $P\geq0,5$. Поэтому, если определяются Z_i для первой половины ранжированного ряда ($P<0,5$),

то следует поставить знак «минус» перед найденным в таблице значением Z_i . Если определяются Z_i для второй половины ранжированного ряда ($P \geq 0,5$), то $Z = f(1-P)$, т.е. находится разность $(1-P)$ и для нее уже определяется Z .

После того, как будет заполнено поле Z , сразу же появляется на графике эмпирическое распределение, как показано на рисунке 11 (если данные предыдущих аналитических аппроксимаций 1 и 2 будут удалены). При этом следует изменить пределы вертикальной шкалы, если значения эмпирического распределения выходят за их пределы. Горизонтальная шкала P_i на рисунке 11 является нормализованной, т.е. соответствующая линеаризации P_i для нормального закона распределения.

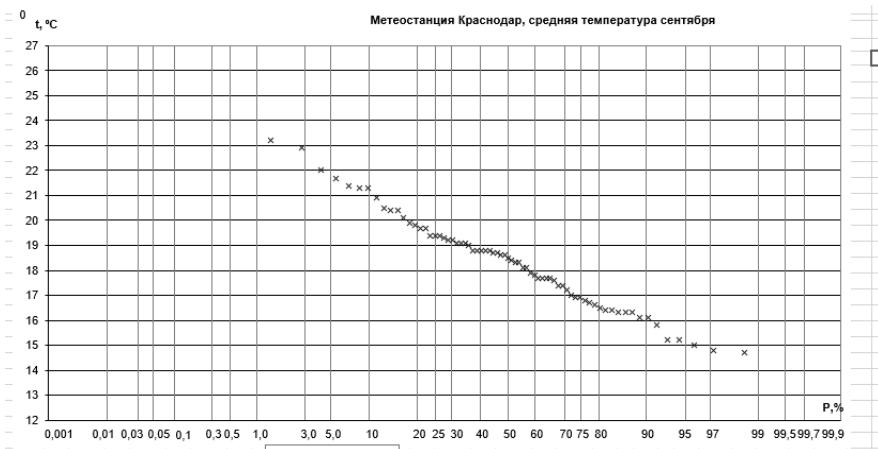


Рисунок 11. Построенное эмпирическое распределение вероятностей в файле-заготовке

8. Определить квантили аналитических распределений Пирсона 3-го типа и распределения Крицкого-Менкеля, которые записываются в область «Аналитические кривые» в поля «1» (квантили распределения Пирсона 3-го типа) или «2» (квантили распределения Крицкого-Менкеля) для 27 стандартных обеспеченностей ($P=0,001$),

0,01%, 0,03%, ..., 99,9%) и соответствующих им ординат Z_i . В соответствующие ячейки также записываются свои вычисленные параметры распределения $Y_{\text{ср}}, C_v, C_s/C_v$, СКО, C_s (рисунок 12).

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ										
Метеостанция Краснодар										
Температура воздуха в сентябре										
Исх. данные	Эмпирика					Аналитические кривые				
значений	годы	p, %	z	значения	годы	p, %	z	1	2	3
16.3	1953	1.39	-2.2	23.2	2015	0.001				
19.4	1954	2.78	-1.91	22.9	1994	0.01	-3.719	27.24	26.44	
18.7	1955	4.17	-1.73	22	2017	0.03	-3.432	26.21	25.71	
14.7	1956	5.56	-1.59	21.7	2010	0.05	-3.291	25.76	25.34	
20.4	1957	6.94	-1.48	21.4	2007	0.1	-3.09	25.26	24.79	
15.2	1958	8.33	-1.38	21.3	2012	0.3	-2.748	24.20	23.87	
15.2	1959	9.72	-1.3	21.3	2020	0.5	-2.576	23.70	23.51	
15.8	1960	11.11	-1.22	20.9	2023	1	-2.326	23.13	22.95	
16.1	1961	12.50	-1.15	20.5	2005	3	-1.881	22.13	22.04	
19.1	1962	13.89	-1.09	20.4	1957	5	-1.645	21.61	21.49	
19.2	1963	15.28	-1.02	20.4	1971	10	-1.282	20.83	20.75	
17.7	1964	16.67	-0.97	20.1	2002	20	-0.842	19.94	19.83	
18.3	1965	18.06	-0.91	19.9	2018	25	-0.674	19.60	19.65	
16.8	1966	19.44	-0.86	19.8	2014	30	-0.524	19.31	19.28	
17.8	1967	20.83	-0.81	19.7	1968	40	-0.253	18.78	18.73	
19.7	1968	22.22	-0.76	19.7	2006	50	0	18.29	18.31	
17.6	1969	23.61	-0.72	19.4	1954	60	0.253	17.83	17.85	
17	1970	25.00	-0.67	19.4	1984	70	0.524	17.32	17.35	
20.4	1971	26.39	-0.63	19.4	2011	75	0.674	17.05	17.1	
17.4	1972	27.78	-0.59	19.3	2001	80	0.842	16.75	16.8	
15	1973	29.17	-0.55	19.2	1963	90	1.282	15.97	16.07	
17.7	1974	30.56	-0.51	19.2	1981	95	1.645	15.40	15.48	
19	1975	31.94	-0.47	19.1	1962	97	1.881	15.02	15.11	
16.4	1976	33.33	-0.43	19.1	2004	99	2.326	14.32	14.4	
16.4	1977	34.72	-0.39	19.1	2022	99.5	2.576	13.75	14.05	
18.1	1978	36.11	-0.36	19	1975	99.7	2.748	13.50	13.81	
18.7	1979	37.50	-0.32	18.8	1982	99.9	3.09	13.21	13.35	
16.3	1980	38.89	-0.28	18.8	1998	оп.				18.38
19.2	1981	40.28	-0.25	18.8	2008	Cv				0.104
18.8	1982	41.67	-0.21	18.8	2009	Cv/Cv				2.8
18.5	1983	43.06	-0.17	18.8	2016	СКО				1.801
19.4	1984	44.44	-0.14	18.7	1955	Cs				0.268

Рисунок 12. Область «Аналитические кривые» в файле-заготовке.

Нормированные ординаты распределения Пирсона 3-го типа определяются из таблицы 17 для строки с вычисленным C_s или интерполяцией между двумя соседними строками между которыми находится вычисленное значение C_s , и затем, по формуле (32), они

переводятся в абсолютные значения ординат (умножением на \bar{b} и добавлением Y_{cp}). Вычисленные абсолютные значения ординат распределения Пирсона 3-го типа заносятся в поле «1» для P_i от 0,01% до 99,9%. Для тех обеспеченностей, значения которых отсутствуют в таблице 17 ($P_i = 0,03\%, 0,05\%, 0,3\%, 0,5\%, 99,5\%, 99,7\%$) ординаты определяются линейной интерполяцией.

В результате заполнения ячеек поля «1» в блоке «Аналитические кривые» на графике эмпирического распределения появится аналитическая аппроксимация, как показано на рисунке 13.

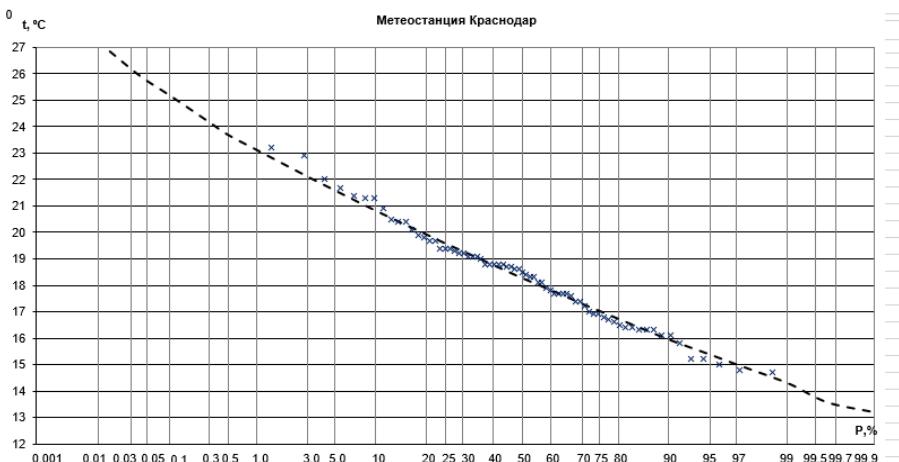


Рисунок 13. Аппроксимация эмпирического распределения распределением Пирсона 3-го типа.

Нормированные ординаты распределения Крицкого-Менкеля определяются из таблицы 18 Приложения. Для интерполяции прежде всего требуются определить блок или два соседних блока, близких к вычисленному отношению C_s/C_v . В каждом блоке выбирается один столбец, если вычисленное C_v точно равно табличному значению, или два столбца, если вычисленное C_v находится между табличными значениями, – для них выписываются нормированные ординаты.

Затем осуществляется интерполяция между нормированными ординатами, полученными для двух блоков разных отношений C_s/C_v .

В результате окончательно полученный столбец нормированных ординат распределения Крицкого-Менкеля преобразуется в абсолютные значения ординат умножением на $Y_{ср}$ и записывается в поле «2» для всех 27 стандартных обеспеченностей. После этого на графике появляется аппроксимация Крицкого-Менкеля, как показано на рисунке 14.

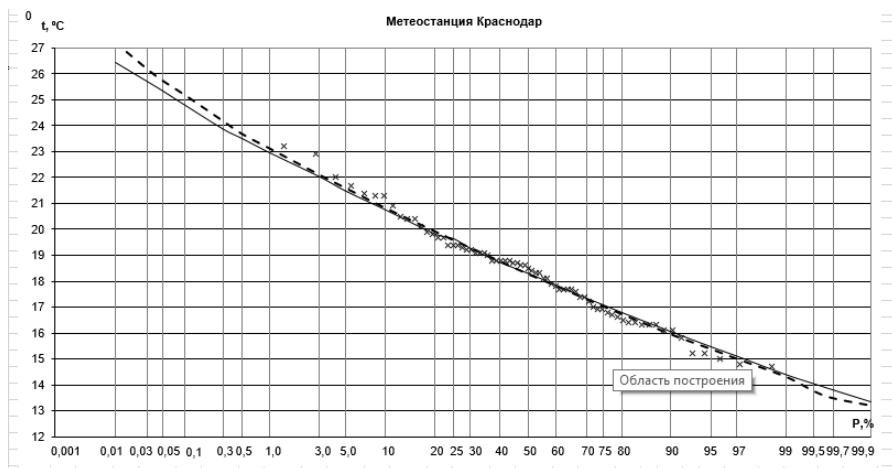


Рисунок 14. Аппроксимация эмпирического распределения распределением Пирсона 3-го типа и распределением Крицкого-Менкеля.

Следует помнить, что распределение Крицкого-Менкеля предназначено для аппроксимации только положительных величин, так как оно начинается от 0. Поэтому при аппроксимации отрицательных значений, например, отрицательных температур воздуха, эффективным будет распределение Пирсона 3-го типа.

3.3. Пример расчета и оформления результатов

1. Выбрана среднемесячная температура апреля на метеостанции Псков с периодом наблюдений 1953-2022 гг.

2. Многолетний ряд проранжирован в порядке убывания и получено, что наименьшее наблюденное значение равно $-0,8^{\circ}\text{C}$ (1955 г.), а наибольшее равно $8,1^{\circ}\text{C}$ (1990 г.).

3. Продолжительность наблюдений составляет $n=71$ год. Количество градаций s определено по формуле $s=(n)^{1/2}$ и равно 8,4.

В связи с тем, что разность между максимальным и минимальным наблюденными значениями (размах выборки) составляет $H=8,9^{\circ}\text{C}$ ($8,1^{\circ}\text{C} - (-0,8^{\circ}\text{C})$), шаг градации вычисляется как $\Delta=H/s=1,06^{\circ}\text{C}$, при округлении шаг принят $\Delta=1,1^{\circ}\text{C}$. Поэтому первая градация будет от $-0,8^{\circ}\text{C}$ до $0,3^{\circ}\text{C}$, вторая от $0,3^{\circ}\text{C}$ до $1,4^{\circ}\text{C}$, ..., последняя от $6,9^{\circ}\text{C}$ до $8,1^{\circ}\text{C}$ (несколько больше из-за округления).

4. Относительная частота для каждой градации рассчитана по формуле (29). По вычисленным частотам и значениям середин градаций для всего диапазона температур построена гистограмма частот, приведенная на рисунке 15, где частота представлена в %.

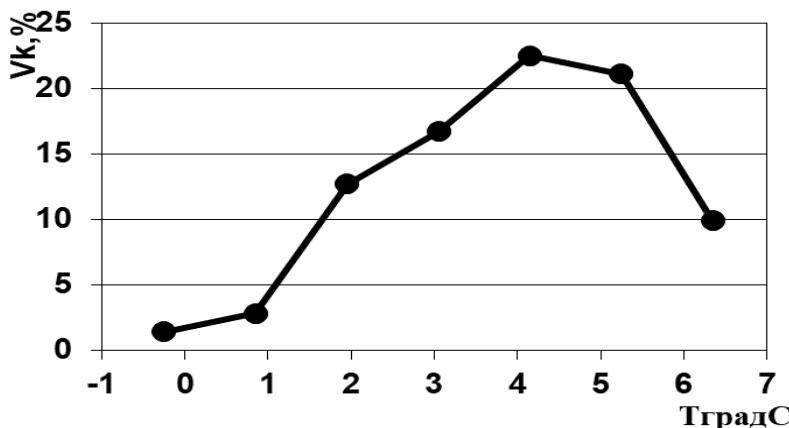


Рисунок 15. Гистограмма частот (в %) распределения среднемесячных температур воздуха в апреле на метеостанции Псков (1953-2022 гг.)

Распределение частот является асимметричным (левая асимметрия) с модальным (наиболее вероятным) значением 4,2°C.

5. Рассчитаны обеспеченности, соответствующие каждому ранжированному значению P по формуле (30).

6. В файл-заготовку скопированы данные в область «Исходные данные» в поля «значения» и «годы» и в область «Эмпирика», где информация скопирована в поля: « $P, \%$ », «значения» и «годы» (рисунок 16).

	A	B	D	E	F	G	I
6	Температура воздуха						
7	Исх. данные		Эмпирика				
8	значения	годы	p, %	z	значения	годы	
9	5.6	1953	1.39	-2.2	8.1	1990	
10	1.9	1954	2.78	-1.91	8.1	2000	
11	0.8	1955	4.17	-1.73	8	2001	
12	0.4	1956	5.56	-1.59	7.7	1989	
13	3	1957	6.94	-1.48	7.6	1999	
14	2.3	1958	8.33	-1.38	7.5	1983	
15	4.6	1959	9.72	-1.3	7.3	2019	
16	3.8	1960	11.11	-1.22	7.1	1994	
17	2.5	1961	12.50	-1.15	7	2008	
18	6	1962	13.89	-1.09	6.8	2023	
19	3.8	1963	15.28	-1.02	6.7	2010	
20	3.4	1964	16.67	-0.97	6.5	2014	
21	4.2	1965	18.06	-0.91	6.3	2016	
22	1.1	1966	19.44	-0.86	6	1962	
23	4.5	1967	20.83	-0.81	6	2002	
24	3.8	1968	22.22	-0.76	6	2018	
25	3.7	1969	23.61	-0.72	5.8	1984	
26	4.1	1970	25.00	-0.67	5.7	2011	
27	2.8	1971	26.39	-0.63	5.6	1953	
28	3.2	1972	27.78	-0.59	5.6	2021	

Рисунок 16. Фрагмент заполненных полей в областях «Исходные данные» и «Эмпирика».

7. По таблице 19 определены значения ординат стандартизированного нормального распределения ($\mu=0$, $\sigma=1$) Z_i с точностью до 0,01 по P_i , выраженным в долях 1, и занесены в поле «z», как показано на рисунке 16.

Полученное эмпирическое распределение показано на рисунке 17.

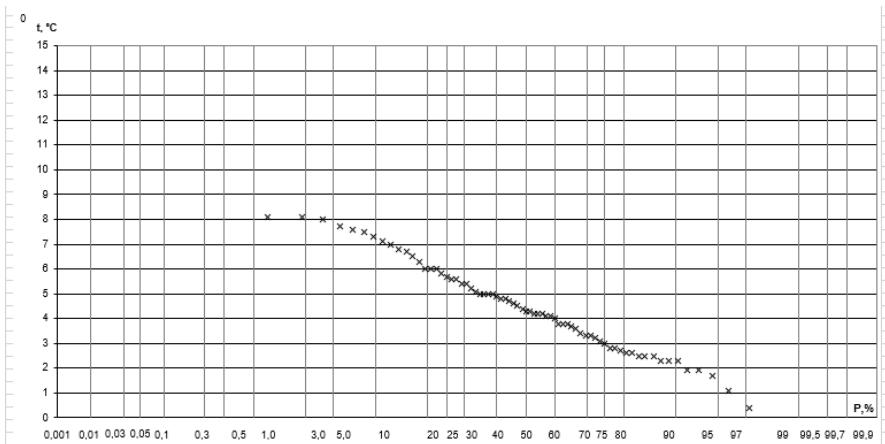


Рисунок 17. Эмпирическое распределение среднемесячных температур воздуха в апреле на метеостанции Псков (1953-2022 гг.)

8. Рассчитанные по формулам (13)-(15) значения параметров распределения (среднее значение Y_{cp} , среднее квадратическое отклонение σ , коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s) занесены в соответствующие ячейки, как показано на рисунке 18.

F	G	I	J
5.6	2021	80	0.842
5.4	1975	90	1.282
5.4	2006	95	1.645
5.2	2007	97	1.881
5.1	2015	99	2.326
5	1973	99.5	2.576
5	1980	99.7	2.748
5	1986	99.9	3.09
5	2004	cp.	4.454929577
4.9	2012	C_v	0.416741736
4.8	1991	Cs/Cv	0.289419099
4.8	1995	CKO	1.8565555084
4.7	2005	Cs	0.120613018

Рисунок 18. Параметры распределения среднемесячных температур воздуха в апреле на метеостанции Псков за период 1953-2022 гг.

9. По таблицам 17 и 18 Приложения определены ординаты аналитических распределений Пирсона 3-го типа и распределения Крицкого-Менкеля, которые записаны в область «Аналитические кривые» в поля «1» (квантили распределения Пирсона 3-го типа) и «2» (квантили распределения Крицкого-Менкеля).

В результате на графике получены аппроксимации эмпирического распределения среднемесячных температур апреля на метеостанции Псков аналитическими распределениями Пирсона 3 типа и распределением Крицкого-Менкеля, как показано на рисунке 19.

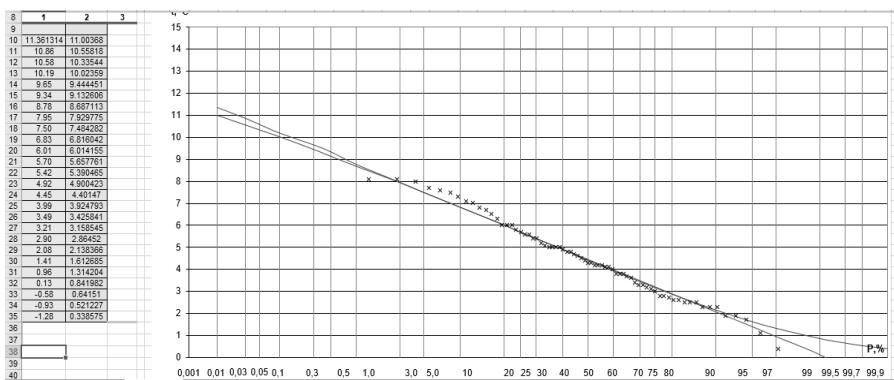


Рисунок 19. Эмпирическое распределение среднемесячных температур воздуха в апреле на метеостанции Псков за период 1953-2022 гг. и его аппроксимация аналитическим распределениями Пирсона 3 типа и Крицкого-Менкеля.

На основе аналитическим аппроксимаций получены расчетные значения температуры воздуха повторяемостью 1 раз в 100 и 200 лет, которые соответственно равны 8,7 – 8,8°C и 9,1 – 9,3°C в зависимости от аппроксимирующего распределения.

3.4. Вопросы для самопроверки

1. Что такое эмпирическая ежегодная вероятность непревышения и по какой формуле она вычисляется?
2. Какие бывают аналитические распределения и для чего они применяются?
3. Что такое параметры распределения?
4. Какие методы применяются для вычисления параметров распределения?
5. Что такое частотная гистограмма и как она строится?
6. Что такое клетчатка вероятностей и для чего она применяется?
7. Что такое ординаты стандартизированного нормального распределения и как они определяются?
8. Как определяются ординаты аналитических аппроксимаций?
9. Как получить наилучшую аналитическую аппроксимацию?
10. Что такое расчетная климатическая характеристика?

Литература:

1. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М., Статистика, 1973. – 392 с.
3. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 568 с.
4. Кобышева Н.В.. Наровлинский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 295 с.
5. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 1. Общая климатология: книга 1. – СПб, РГГМУ, 2019. – 378 с.
6. Лобанов В.А. Учебное пособие по региональной климатологии. Учебное издание. – СПб, РГГМУ, 2020. – 170 с.
7. Лобанов В.А. Многомерный статистический анализ для исследования динамики климата. Учебное издание. – СПб, РГГМУ, 2022. – 284 с.
8. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб: РГГМУ, 2008. – 408 с.
9. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 78 с.

Тема 2. Факторы формирования климата

Лабораторная работа № 4: «Теоретическое распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы»

Цель работы:

научиться рассчитывать суточную солнечную радиацию, поступающую на верхнюю границу атмосферы.

4.1 Теоретические положения

Первоисточником энергии для всех процессов, происходящих в атмосфере и гидросфере, является лучистая энергия Солнца, называемая солнечной радиацией. Энергия звездной радиации и тепло, поступающее на поверхность Земли в результате процессов, происходящих в ее глубинных слоях, ничтожно малы по сравнению с солнечной радиацией. Солнце, наиболее близко расположенная к нам звезда, представляет собой раскаленный газовый шар с температурой поверхности около 6000 К. Источником солнечной энергии являются реакции превращения водорода в гелий. Эта энергия распространяется в окружающем пространстве в виде электромагнитной радиации и корпускулярных потоков, состоящих преимущественно из протонов и электронов.

Хотя Солнце излучает электромагнитные волны очень широкого спектра: от гамма-излучения (с длинами волн 10^{-10} см и короче) до сверхдлинных радиоволн (порядка десятков и сотен километров), интенсивность излучения Солнца по длинам волн распределяется неравномерно, как показано на рисунке 20.

В зависимости от длины волн энергетический спектр удобно разделить на три части:

> 0,7 мкм – инфракрасное излучение, составляющее около 48 % всей солнечной энергии;

0,4-0,7 мкм – видимая часть спектра, составляющая 43 %;
< 0,4 мкм – ультрафиолетовое излучение и рентгеновские лучи, составляющие около 9 %.

Приблизительно 99 % солнечной радиации имеют длины волн от 0,15 до 4 мкм.

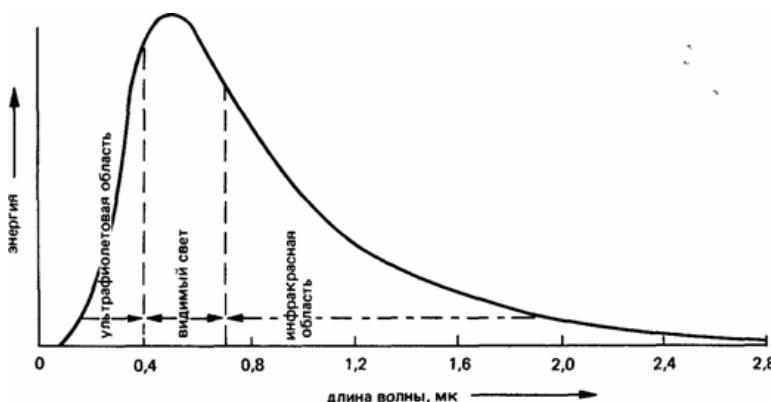


Рисунок 20. Распределение интенсивности радиации по длинам волн для абсолютно черного тела с поверхностью 6000 К.

В метеорологии принято выделять коротковолновую и длинноволновую радиацию. К коротковолновой относят радиацию в диапазоне длин волн от 0,1 до 4,0 мкм, т. е. она включает, кроме видимого участка спектра, еще и ближайшие к нему участки ультрафиолетового и инфракрасного спектров. Длинноволновая – это радиация с длинами волн от 4 до 100-120 мкм. Такой радиацией обладают земная поверхность и атмосфера.

Энергия корпускулярных потоков в среднем в 107 раз меньше, чем энергия электромагнитной радиации Солнца, и она сильно меняется в зависимости от солнечной активности. Под действием корпускулярной радиации происходит ионизация воздуха в верхних слоях атмосферы. Она влияет на магнитное поле Земли, в частности, вызывая магнитные бури; ею обусловлены полярные сияния и другие явления в верхних слоях атмосферы. Ниже высоты 90 км корпускулярная радиация почти не проникает.

Почти всю радиационную энергию от Солнца (90 %) Земля получает на верхней границе атмосферы. Количество тепла, приносимого солнечной радиацией на 1 см² поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, в 1 мин называется интенсивностью солнечной радиации, и определяется по формуле:

$$I = S_S / (4\pi r^2), \quad (33)$$

где S_S – мощность излучения (энергетическая светимость) Солнца, равная примерно $4*10^{20}$ МВт; r – расстояние от Земли до Солнца.

Интенсивность солнечной радиации составляет 1,98 кал/(см² мин), где 1 кал = 4,1868 Дж, или 1,37 кВт/м². Эта величина называется солнечной постоянной.

Земля вращается вокруг Солнца по эллиптической орбите и находится от него в среднем на расстоянии 149,6 млн. км (1 астрономическая единица). Колебания этой величины в настоящее время составляют около 5 млн. км в зависимости от времени года. Так, в январе расстояние до Солнца составляет 147,1 млн. км, а в июле – 152,1 млн.км. В теории движения Земли по эллиптической орбите (небесной механике) устанавливается соотношение:

$$\left(\frac{r_0}{r}\right)^2 dt = \frac{\Pi_0 d\lambda_s}{2\pi \sqrt{1-e^2}}, \quad (34)$$

где r, r_0 – соответственно фактическое и среднее расстояние от Земли до Солнца; Π_0 – продолжительность тропического года (период между последовательными вступлениями Солнца в точку весеннего равноденствия); e – эксцентриситет орбиты Земли ($e = 0,0167$); λ_s – геоцентрическая долгота Солнца.

Распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы и ее изменение по времени зависят от следующих причин.

1. От степени активности Солнца. В годы наибольшей активности солнечной деятельности солнечная радиация увеличивается. Солнечная постоянная в эти годы на 2% больше, чем в годы спокойного Солнца. С возрастанием солнечной активности на Земле

увеличивается также интенсивность магнитных и ионосферных возмущений.

2. От расстояния между Землей и Солнцем. Так как орбита Земли представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце, то расстояние от Земли до Солнца в течение года не остается постоянным. В период, когда Земля находится на наименьшем расстоянии от Солнца – в перигелии, напряженность солнечной радиации примерно на 3,3% больше, чем весной и осенью, а в период, когда Земля находится на наибольшем расстоянии от Солнца – в афелии, на 3,3 % меньше.

3. От угла падения лучей Солнца на поверхность. Величина приходящей солнечной радиации меняется во времени и от места к месту в соответствии с изменением угла, под которым солнечные лучи падают на поверхность Земли: чем выше Солнце над головой, тем она больше. Изменения этого угла определяются в основном обращением Земли вокруг Солнца и ее вращением вокруг своей оси.

Плоскость орбиты Земли называется плоскостью эклиптики. Обращение Земли вокруг Солнца не имело бы большого значения, если бы земная ось была перпендикулярна плоскости орбиты Земли. В этом случае в любой точке земного шара в одно и то же время суток Солнце поднималось бы на одинаковую высоту над горизонтом и проявлялись бы только небольшие сезонные колебания инсоляции, обусловленные изменением расстояния от Земли до Солнца. Но на самом деле земная ось отклоняется от перпендикуляра к плоскости орбиты на $23^{\circ}30'$, и из-за этого меняется угол падения солнечных лучей в зависимости от положения Земли на орбите и на Земле происходит смена времен года.

Равные потоки солнечной энергии представлены на рисунке 21 полосами А, Б и В. Из-за кривизны земной поверхности энергия потоков А и В распределяется на большие площади, в то время как энергия потока Б концентрируется на меньшей. Таким образом, на территории, на которую приходится поток Б, будет теплее, чем там, куда поступают потоки А и В. На рисунке 21 изображено положение Земли 21 июня, когда лучи Солнца на Северном тропике падают отвесно.

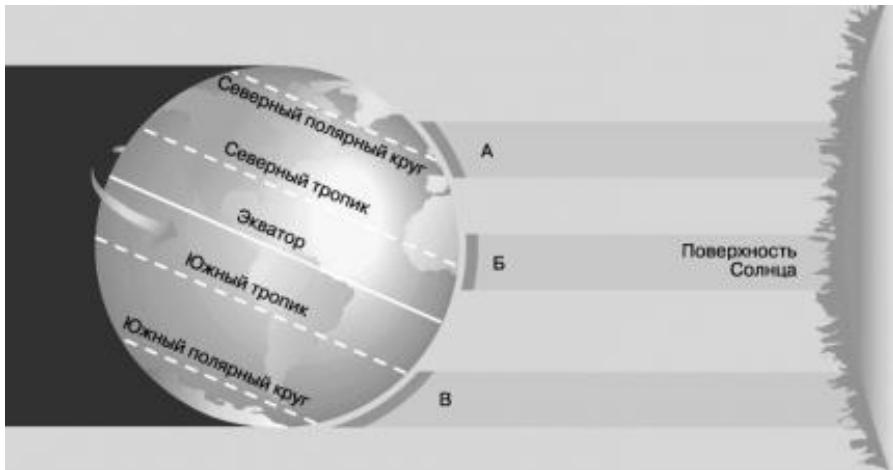


Рисунок 21. Потоки приходящей солнечной энергии к верхней границе атмосферы Земли.

Для практических целей удобно считать, что Солнце во время годичного цикла (рисунок 22) смещается к северу в период с 21 декабря по 21 июня и к югу – с 21 июня по 21 декабря. В местный полдень 21 декабря вдоль всего Южного тропика ($23^{\circ}30'$ ю.ш.) Солнце находится прямо над головой. В это время в Южном полушарии солнечные лучи падают под наибольшим углом. Такой момент в Северном полушарии носит название «зимнего солнцестояния». В ходе кажущегося смещения к северу Солнце пересекает небесный экватор 21 марта (весеннее равноденствие). В этот день оба полушария получают одинаковое количество солнечной радиации. Наиболее северного положения в $23^{\circ}30'$ с.ш. (Северного тропика), Солнце достигает 21 июня. Этот момент, когда в Северном полушарии солнечные лучи падают под наибольшим углом, называется летним солнцестоянием. В осенне равноденствие, 23 сентября, Солнце вновь пересекает небесный экватор.

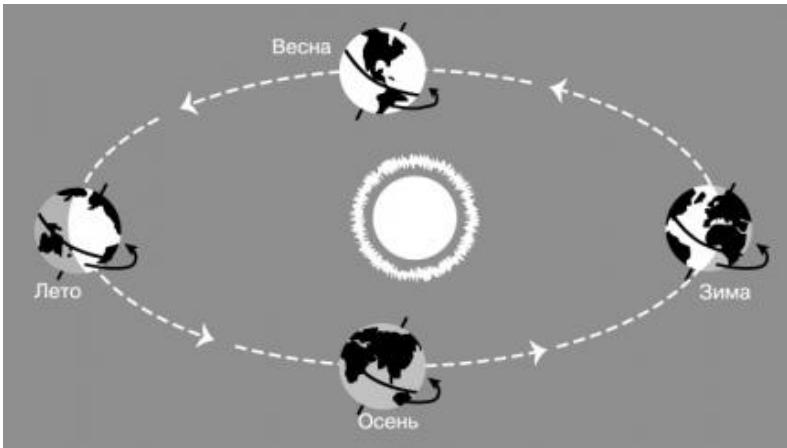


Рисунок 22. Обращение Земли вокруг Солнца.

Наклоном земной оси к плоскости орбиты Земли обусловлены изменения не только угла падения солнечных лучей на земную поверхность, но и ежесуточной продолжительности солнечного сияния. В равноденствие продолжительность светового дня на всей Земле (за исключением полюсов) равна 12 ч, в период с 21 марта по 23 сентября в Северном полушарии она превышает 12 ч, а с 23 сентября по 21 марта – меньше 12 ч. Севернее $66^{\circ}30'$ с.ш. (Северного полярного круга) с 21 декабря полярная ночь длится круглые сутки, а с 21 июня в течение 24 ч продолжается световой день. На Северном полюсе полярная ночь наблюдается с 23 сентября по 21 марта, а полярный день – с 21 марта по 23 сентября.

Таким образом, причинами двух отчетливо выраженных циклов атмосферных явлений – годового, продолжительностью $365 \frac{1}{4}$ суток, и суточного, 24-часового, – являются вращение Земли вокруг Солнца и наклон земной оси.

Если обозначить через h_0 высоту Солнца (рисунок 23), то непосредственно на единицу горизонтальной поверхности АС приходится радиации во столько раз меньше, во сколько раз АС больше АВ.

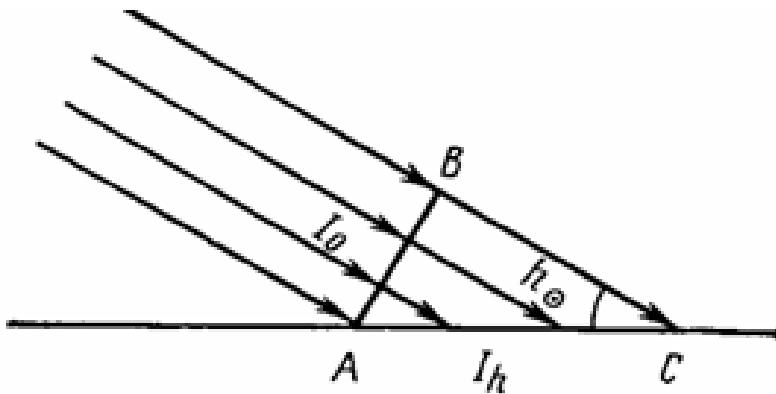


Рисунок 23. Поступление солнечной энергии на единицу горизонтальной поверхности.

Обозначив количество солнечной радиации, падающей на 1 см² в 1 мин на площадку АВ, через I_0 , а на площадку АС — через I_h , получим:

$$I_h \equiv I_0 \sinh h_0. \quad (35)$$

Из астрономии и формул сферической тригонометрии известно, что:

$$\sin h_0 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \psi, \quad (36)$$

где ϕ – широта места; δ – склонение Солнца; ψ – местный часовой угол Солнца.

Следовательно, приток тепла от солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, зависит:

– от широты места ϕ , чем в основном обуславливаются различия климатических поясов земного шара;

– от склонения Солнца δ , которое изменяется в течение года от $\delta=23.5^\circ\text{N}$ до $\delta=23.5^\circ\text{S}$, чем обусловливаются времена года:

– от местного часового угла Солнца ψ , которым обуславливается суточный ход интенсивности солнечной радиации.

На рисунке 24 показано изменение склонения Солнца на экваторе в течение года.

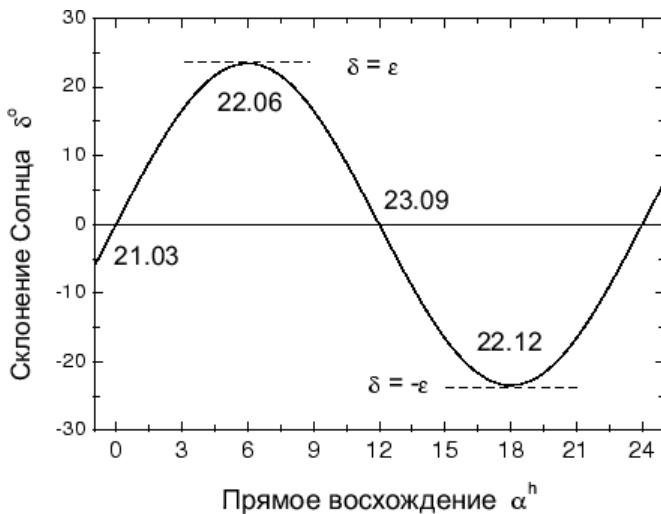


Рисунок 24. Изменение экваториальных координат Солнца в течение года.

Для четырех дней в году координаты Солнца определяются точно, как показано в таблице 11, где указана также полуденная (в момент верхней кульминации) h_{max} высота Солнца на эти даты.

Таблица. 11

Данные о Солнце в дни равноденствий и солнцестояний

Дата	δ	α	Точка восхода	Точка захода	h_{max}
21 марта	0° 00'	0 h 00 m	Е	W	90 - φ
22 июня	23° 26'	6h 00 m	сев.	вост. сев.	90 - φ + ε
23 сентября	0° 00'	12 h 00 m	Е	W	90 - φ
22 декабря	-23° 26'	18 h 00 m	юг	вост. юг.	90 - φ - ε

Для того чтобы вычислить высоту Солнца в моменты кульминаций на любой другой день года, нам необходимо знать склонение Солнца δ в этот день:

$$h_0 = \delta \pm (90 - \varphi). \quad (37)$$

В первом приближении, Солнце движется по эклиптике равномерно: за 365 дней проходит 360° или примерно 1° в сутки (точнее $59,2'$). Как будут при этом меняться склонение Солнца δ и прямое восхождение α ? Из-за эллиптичности земной орбиты вблизи перигелия Земля движется быстрее, чем в афелии, поэтому изменение экваториальных координат Солнца происходит неравномерно. Склонение быстрее всего изменяется вблизи равноденствий (таблица 12), примерно $\pm 0,4^\circ$ в сутки в течение 30 дней до и 30 дней после равноденствия. Медленнее всего изменения склонения Солнца происходят вблизи солнцестояний: $\pm 0,1^\circ$ в сутки за тот же период. В промежутках скорость изменения склонения Солнца приблизительно равна $\pm 0,3^\circ$ в сутки.

Таблица 12
Скорость изменения склонения Солнца в течение года

Дата	$\Delta \delta/\text{сутки}$
19 февраля - 20 апреля	+ 0,4°
21 апреля - 22 мая	+ 0,3°
23 мая - 22 июня	+ 0,1°
22 июня - 22 июля	- 0,1°
23 июля - 21 августа	- 0,2°
22 августа - 23 октября	- 0,4°
24 октября - 22 ноября	- 0,3°
23 ноября - 22 декабря	- 0,1°
22 декабря - 21 января	+ 0,1°
22 января - 18 февраля	+ 0,3°

Таким образом, зная точные значения склонения Солнца на отдельные даты (таблица 11) и скорость изменения склонения (таблица 12), можно определить склонение Солнца δ на любой день года, затем высоту Солнца h_0 и количество солнечной радиации I_h .

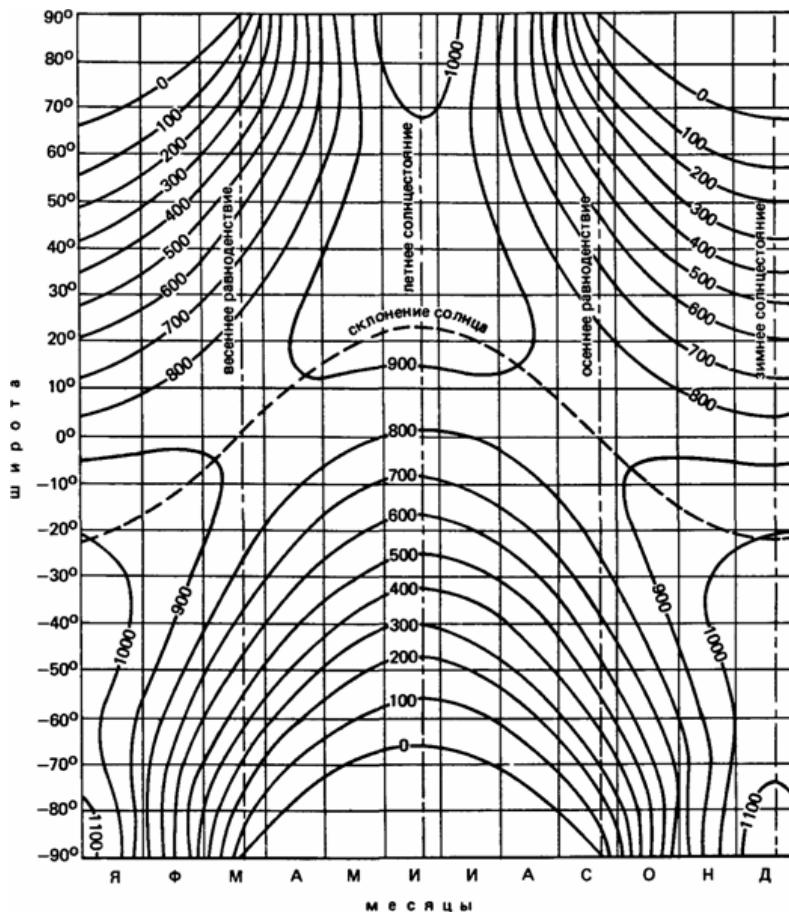


Рисунок 25. Суточные суммарные величины интенсивности солнечной радиации (в кал/см²) на верхней границе атмосферы на разных широтах в течение года.

На рисунке 25 показано количество тепла, приносимого солнечной радиацией, поступающей на единицу горизонтальной поверхности верхней границы атмосферы в различные месяцы на различных широтах.

Изменения количества получаемого тепла особенно велики в высоких широтах и малы на экваторе. В некоторые месяцы полярные широты вообще не получают тепла от Солнца, так как оно в это время находится под горизонтом (полярная ночь). Отметим, что летом (с 10.V по 3.VIII – полярный день) в северных полярных широтах на границу атмосферы за сутки поступает больше энергии, чем у экватора. Так, в день летнего солнцестояния полюс получает тепла в 1,365 раза больше, чем экватор. Однако за весь год низкие широты получают тепла значительно больше, чем высокие.

Заметим, что летом максимум радиации, которую могла бы получить поверхность Земли при отсутствии атмосферы, увеличивается с увеличением широты. Но так как зимой величина тепла уменьшается быстрее, чем летом, ее среднегодовые значения с увеличением широты уменьшаются. Благодаря тому, что перигелий (ближайшая к Солнцу точка земной орбиты) достигается Землей летом Южного полушария, в это время наша планета получает больше солнечной энергии, чем летом Северного полушария.

Результаты расчета поступающей солнечной радиации в Северном полушарии в отдельные сроки приведены в таблице 13.

Таблица 13
Поступление солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы
(Вт/м² в сутки)

Широта, °с.ш.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
21 июня	375	414	443	461	470	467	463	479	501	510
21 декабря	399	346	286	218	151	83	23	0	0	0
Ср. годовое	403	397	380	352	317	273	222	192	175	167

Из таблицы 13 следует, что контраст между летним и зимним периодами поразителен. В Северном полушарии 21 июня величина инсоляция примерно одинакова. 21 декабря между низкими и высокими широтами существуют значительные различия, и это основная причина того, что климатическая дифференциация этих широт зимой намного больше, чем летом.

Макроциркуляция атмосферы, которая зависит главным образом от различий в прогревании атмосферы, лучше развита зимой. Годовая амплитуда величины потока солнечной радиации на экваторе довольно мала, но резко возрастает по направлению к северу. Поэтому при прочих равных условиях годовая амплитуда температур определяется главным образом широтой местности.

В таблице 14 приведены значения месячных сумм солнечной радиации для разных широт в течение года.

Таблица 14

Широтное распределение месячной солнечной радиации на верхней границе 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

4.2 Последовательность расчета

Определение суточной (от восхода до заката) суммы инсоляции Q осуществляется по формуле:

$$Q = I_o \Pi (\psi_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \psi_0) / (\pi R^2), \quad (38)$$

или

$$Q = 2I_o [t_0 \sin \varphi \sin \delta + \Pi \cos \varphi \cos \delta \sin (2\pi t_0 / \Pi) / 2\pi] / R^2, \quad (39)$$

где Q – суточная сумма инсоляции ($\text{МДж}/\text{м}^2$); I_o – солнечная постоянная, равная $1,37 \text{ кВт}/\text{м}^2$; Π – период суточного вращения Земли (равен $86\,400$ с); ψ_0 – часовой угол (в радианах); φ – широта; δ – склонение Солнца; R – расстояния от Земли до Солнца в астрономических единицах ($R = r/r_0$, где r , r_0 – соответственно фактическое и среднее расстояние от Земли до Солнца); t_0 – половина продолжительности светового дня (в секундах).

Для определения суточной суммы инсоляции Q следует последовательно выполнить следующие шаги:

1) Рассчитать значение склонения Солнца δ по формуле:

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \lambda_s, \quad (40)$$

где $\varepsilon = 23,5^\circ$ – угол наклона земного экватора к эклиптике; λ_s – геоцентрическая долгота Солнца.

Для расчета склонения Солнца δ возможно использовать также таблицы 11 и 12. Для этой цели по таблице 11 определяется ближайшая к рассматриваемому сроку дата равноденствия или солнцестояния и находится точное значение склонения для этой даты δ^* . Далее рассчитывается суммарная скорость изменения склонения Солнца от даты равноденствия (солнцестояния) до рассматриваемого срока по таблице 12 – $\Sigma(\Delta\delta)$ и в результате вычисляется значение склонение Солнца в рассматриваемый срок:

$$\delta = \delta^* + \Sigma(\Delta\delta). \quad (41)$$

Численные значения склонения Солнца возможно получить также из табл. 15 на основе линейной интерполяции.

Таблица 15

Склонение Солнца (в градусах и минутах)

Чис- ло	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-23,02	-17,11	-7,41	4,26	15,00	22,01	23,08	18,05	8,23	-3,05	-14,20	-21,46
5	-22,39	-16,00	-6,09	5,58	16,11	22,31	22,49	17,03	6,55	-4,37	-15,37	-22,20
10	-22,00	-14,26	-4,13	7,51	17,04	23,00	22,16	15,39	5,03	-6,32	-17,04	-22,53
15	-21,20	-12,46	-2,15	9,40	18,48	23,18	21,34	14,08	3,08	-8,25	-18,25	-23,15
20	-19,58	-10,39	0,08	11,46	20,08	23,27	20,32	12,13	0,49	-10,36	-19,51	-23,26
25	-19,02	-9,11	1,42	13,06	20,54	23,24	19,43	10,51	-0,45	-12,00	-20,42	-23,24

2) Рассчитать значение часового угла Солнца ψ_0 (в радианах), половину продолжительности светового дня t_0 (в секундах) по формулам:

$$\cos \psi_0 = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta, \quad (42)$$

$$t_0 = \psi_0 \Pi / 2\pi, \quad (43)$$

Значения склонения Солнца, время восхода и заката можно определить с помощью солнечного калькулятора: <http://www.timezone.ru/suncalc.php>.

3) Определить геоцентрическую долготу Солнца λ_s линейной интерполяцией значений из таблицы 16.

Таблица 16

Значения геоцентрической долготы Солнца λ_s в отдельные даты года

Дата	21.03	13.04	6.05	29.05	22.06	15.07	8.08	31.08
λ_s	0°	22°30'	45°	67°30'	90°	112°30'	135°	157°30'
Дата	23.09	16.10	8.11	30.11	22.12	13.01	14.02	26.02
λ_s	180°	202°30'	225°	247°30'	270°	292°30'	315°	337°30'

4) Фактическое расстояние от Земли до Солнца R , выраженное в астрономических единицах (а.е., $R=r/r_0$), может быть определено линейной интерполяцией по данным таблицы 17, где 1 а.е. = 149,6 млн. км.

Таблица 17
Расстояния от Земли до Солнца на разные даты от начала года (в а. е.)

Номер дня	Расстояние								
1	0,98331	74	0,99446	152	1,01403	227	1,01281	305	0,99253
15	0,98365	91	0,99926	166	1,01577	242	1,00969	319	0,98916
32	0,98536	106	1,00353	182	1,01667	258	1,00566	335	0,98608
46	0,98774	121	1,00756	196	1,01646	274	1,00119	349	0,98426
60	0,99084	135	1,01087	213	1,01497	288	0,99718	365	0,98333

5) Подставить вычисленные значения δ , ψ_0 , t_0 и R в формулу (38) или (39), по которым определить суточные (от восхода до заката) суммы инсоляции Q .

4.3. Пример расчета

Определение суточной суммы инсоляции на широте г. Санкт-Петербурга ($\phi=60,0^\circ$) на 23 сентября и 1 ноября 2009 г.

1) На 23 сентября в день осеннего равноденствия по таблице 14 получаем склонение Солнца $\delta=0^\circ$, отсюда $\sin \delta = 0$ и $\cos \delta = 1$.

2) По формуле (42) определяем $\cos \psi_0 = -\operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \delta = 0$, $\sin \psi_0 = 1$ и $\psi_0 = \pi/2$.

3) Вычисляем $\sin \phi = 0,8660$ и $\cos \phi = 0,5$.

4) По таблице 15, применяя интерполяцию, определяем на 23 сентября (265-й день от начала 2009 г.) $R=r/r_0=1,00$.

5) Подставим вычисленные значения в формулу (50):

$$Q = 1,37*86400*(0 + 0,5*1*1) / (\pi*1,000) = 18848 \text{ кДж/м}^2 \quad \text{или} \\ 18,848 \text{ МДж/м}^2.$$

На 21 сентября для широты 60° $Q=18,741 \text{ МДж/м}^2$, отличие с расчетным составляет 0,6%.

6) На 1 ноября по таблице 14 определяем склонение Солнца $\delta = -14^\circ 20'$, отсюда $\sin \delta = -0,2475$ и $\cos \delta = 0,9689$.

7) По формуле (42) определяем $\cos \psi_0 = - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta = -1,7320 * (-0,2554) = 0,4424$, $\sin \psi_0 = 0,8969$ и $\psi_0 = 63,75^\circ = 0,354\pi$.

8) По таблице 15 интерполяцией определяем на 1 ноября (305-й день от начала 2009 г.) $R=r/r_0=0,9928$.

9) Подставим вычисленные значения в формулу (38) и получаем:

$$Q = 1,37 * 86400 * (0,354\pi * 0,8660 * (-0,2475) + 0,5 * 0,9689 * 0,8969) / (\pi * 0,9928^2) = 37970,2 * (-0,2382 + 0,4345) = 7453,55 \text{ кДж/м}^2 \text{ или } 7,454 \text{ МДж/м}^2.$$

На 1 ноября для широты 60° получаем линейной интерполяцией $Q = 7,736 \text{ МДж/м}^2$, отличие с расчетным составляет 3,6%.

4.4. Вопросы для самопроверки

1. Почему солнечная энергия является основным источником тепла на Земле?
2. Какие процессы являются источником энергии на Солнце и что происходит с температурой Солнца: растет или падает?
3. Что такое эклиптика?
4. Из чего состоит энергетический спектр приходящей радиации?
5. Что такое солнечная постоянная и чему она равна?
6. Почему на Земле происходит смена времен года?
7. Что такое солнцестояние и равноденствие и на какие даты они приходятся?
8. Как изменяется продолжительность светового дня в течение года?
9. От каких факторов зависит приток тепла от солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность?
10. Как определить склонение Солнца на любой день года?

11. Каковы основные закономерности распределения суточных сумма приходящей радиации при отсутствии атмосферы на разных широтах в течение года?
12. Чем отличаются две формулы расчета суточной инсоляции?
13. Что такое «Солнечный калькулятор» в Интернете и что по нему можно определить?
14. На сколько изменяется расстояние от Земли до Солнца в течение года?

Литература

1. Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 299с.
2. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 568 с.
3. Кароль И.Л. Введение в динамику климата Земли. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988 – 216 с.
4. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 1. Общая климатология: книга 1. –СПб, РГГМУ, 2019. – 378 с.
5. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 296 с.
6. Переведенцев Ю.П., И.И. Мохов, А.В. Елисеев и др. Теория общей циркуляции атмосферы: учебное пособие /; науч. ред. Э.П. Наумов. – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 224 с
7. Хромов С.П., Петросянц М.П. Метеорология и климатология. – Изд-во МГУ, 2012. – 584 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблицы статистик критериев

Таблица 1

α %-ные критические значения статистики Диксона ($D1_N$)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=0,0$								
1	0,0	0,70	0,53	0,39	0,34	0,31	0,28	0,25
	0,5	0,70	0,52	0,38	0,32	0,28	0,26	0,23
	0,9	0,66	0,47	0,32	0,27	0,22	0,20	0,17
5	0,0	0,56	0,41	0,30	0,26	0,22	0,20	0,18
	0,5	0,56	0,40	0,29	0,25	0,21	0,19	0,17
	0,9	0,54	0,38	0,24	0,20	0,16	0,14	0,12
10	0,0	0,48	0,35	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15
	0,5	0,48	0,34	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14
	0,9	0,46	0,32	0,19	0,16	0,13	0,12	0,10
$C_s=0,5$								
1	0,0	0,74	0,58	0,48	0,43	0,39	0,37	0,33
	0,5	0,74	0,57	0,44	0,39	0,36	0,34	0,31
	0,9	0,68	0,54	0,36	0,30	0,26	0,24	0,21
5	0,0	0,63	0,48	0,38	0,33	0,29	0,28	0,25
	0,5	0,62	0,47	0,36	0,31	0,27	0,26	0,23
	0,9	0,56	0,41	0,28	0,24	0,19	0,18	0,16
10	0,0	0,55	0,42	0,32	0,28	0,24	0,23	0,21
	0,5	0,54	0,39	0,30	0,26	0,22	0,21	0,19
	0,9	0,48	0,35	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13
$C_s=1,0$								
1	0,0	0,79	0,65	0,55	0,50	0,47	0,45	0,41
	0,5	0,78	0,63	0,52	0,47	0,43	0,41	0,38
	0,9	0,73	0,58	0,42	0,36	0,32	0,30	0,27
5	0,0	0,68	0,55	0,45	0,40	0,36	0,34	0,31
	0,5	0,67	0,53	0,43	0,38	0,33	0,31	0,28
	0,9	0,59	0,45	0,31	0,37	0,23	0,22	0,19

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
10	0,0	0,60	0,48	0,39	0,34	0,30	0,28	0,26
	0,5	0,59	0,45	0,36	0,31	0,27	0,26	0,24
	0,9	0,51	0,38	0,26	0,23	0,19	0,18	0,16
$C_s = 1,5$								
1	0,0	0,84	0,71	0,62	0,57	0,54	0,51	0,47
	0,5	0,82	0,69	0,58	0,53	0,50	0,48	0,45
	0,9	0,75	0,62	0,46	0,41	0,37	0,35	0,31
5	0,0	0,73	0,60	0,51	0,46	0,42	0,40	0,37
	0,5	0,72	0,58	0,49	0,44	0,39	0,38	0,34
	0,9	0,62	0,49	0,37	0,32	0,28	0,26	0,24
10	0,0	0,67	0,54	0,45	0,40	0,36	0,34	0,31
	0,5	0,64	0,51	0,42	0,38	0,33	0,32	0,29
	0,9	0,53	0,42	0,31	0,27	0,23	0,22	0,18
$C_s = 2,0$								
1	0,0	0,88	0,77	0,68	0,64	0,61	0,58	0,53
	0,5	0,88	0,76	0,65	0,61	0,57	0,54	0,50
	0,9	0,79	0,61	0,52	0,46	0,41	0,39	0,36
5	0,0	0,79	0,67	0,58	0,52	0,48	0,45	0,42
	0,5	0,77	0,65	0,55	0,49	0,44	0,42	0,39
	0,9	0,67	0,56	0,41	0,36	0,32	0,30	0,27
10	0,0	0,72	0,60	0,51	0,46	0,41	0,39	0,36
	0,5	0,69	0,57	0,49	0,44	0,38	0,36	0,33
	0,9	0,57	0,46	0,34	0,30	0,26	0,25	0,23
$C_s = 3,0$								
1	0,0	0,96	0,87	0,78	0,74	0,70	0,67	0,62
	0,5	0,96	0,86	0,76	0,71	0,67	0,63	0,58
	0,9	0,91	0,83	0,69	0,61	0,55	0,53	0,49
5	0,0	0,88	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50
	0,5	0,88	0,78	0,67	0,61	0,55	0,52	0,47
	0,9	0,79	0,69	0,54	0,48	0,42	0,39	0,36
10	0,0	0,83	0,72	0,62	0,56	0,50	0,47	0,44
	0,5	0,81	0,70	0,60	0,54	0,48	0,45	0,42
	0,9	0,69	0,59	0,46	0,40	0,35	0,33	0,30

Таблица 2

 α %-ные критические значения статистики Диксона ($D2_N$)

$\alpha, \%$	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S = 0,0$								
1	0,0	0,81	0,60	0,43	0,37	0,33	0,30	0,26
	0,5	0,81	0,60	0,40	0,35	0,30	0,27	0,24
	0,9	0,81	0,56	0,34	0,28	0,22	0,21	0,18
5	0,0	0,69	0,48	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19
	0,5	0,69	0,47	0,32	0,27	0,23	0,21	0,18
	0,9	0,68	0,44	0,27	0,21	0,16	0,15	0,12
10	0,0	0,61	0,41	0,28	0,24	0,20	0,19	0,16
	0,5	0,61	0,40	0,27	0,23	0,18	0,17	0,15
	0,9	0,57	0,37	0,22	0,17	0,13	0,12	0,10
$C_S = 0,5$								
1	0,0	0,84	0,64	0,52	0,45	0,41	0,38	0,34
	0,5	0,83	0,62	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31
	0,9	0,82	0,59	0,38	0,32	0,27	0,25	0,22
5	0,0	0,75	0,57	0,41	0,35	0,31	0,29	0,26
	0,5	0,73	0,54	0,38	0,33	0,29	0,27	0,25
	0,9	0,69	0,47	0,30	0,25	0,20	0,18	0,16
10	0,0	0,66	0,47	0,35	0,30	0,26	0,24	0,22
	0,5	0,64	0,45	0,33	0,28	0,23	0,22	0,2
	0,9	0,59	0,4	0,24	0,2	0,17	0,15	0,13
$C_S = 1,0$								
1	0,0	0,87	0,69	0,59	0,52	0,49	0,46	0,42
	0,5	0,87	0,69	0,54	0,49	0,44	0,42	0,39
	0,9	0,84	0,61	0,44	0,38	0,34	0,32	0,28
5	0,0	0,77	0,59	0,47	0,41	0,37	0,35	0,32
	0,5	0,76	0,57	0,44	0,39	0,34	0,32	0,29
	0,9	0,70	0,50	0,33	0,28	0,24	0,22	0,20
10	0,0	0,70	0,52	0,40	0,36	0,32	0,30	0,27
	0,5	0,67	0,49	0,38	0,33	0,29	0,27	0,24
	0,9	0,61	0,42	0,27	0,23	0,20	0,19	0,16

$\alpha, \%$	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s = 1,5$								
1	0,0	0,89	0,75	0,65	0,58	0,55	0,52	0,48
	0,5	0,89	0,73	0,61	0,57	0,51	0,48	0,45
	0,9	0,85	0,64	0,49	0,44	0,39	0,36	0,32
5	0,0	0,81	0,65	0,53	0,47	0,43	0,40	0,37
	0,5	0,79	0,62	0,51	0,45	0,39	0,37	0,34
	0,9	0,72	0,53	0,37	0,32	0,28	0,26	0,24
10	0,0	0,74	0,57	0,46	0,41	0,37	0,35	0,32
	0,5	0,71	0,55	0,44	0,39	0,34	0,32	0,29
	0,9	0,64	0,46	0,31	0,27	0,22	0,21	0,19
$C_s = 2,0$								
1	0,0	0,91	0,79	0,70	0,64	0,61	0,58	0,53
	0,5	0,91	0,78	0,67	0,61	0,56	0,54	0,50
	0,9	0,88	0,68	0,53	0,48	0,42	0,40	0,37
5	0,0	0,84	0,70	0,58	0,52	0,48	0,46	0,42
	0,5	0,83	0,68	0,56	0,50	0,45	0,43	0,39
	0,9	0,75	0,59	0,42	0,37	0,32	0,31	0,28
10	0,0	0,77	0,62	0,52	0,46	0,41	0,39	0,36
	0,5	0,76	0,60	0,50	0,44	0,39	0,37	0,33
	0,9	0,67	0,49	0,36	0,31	0,27	0,26	0,23
$C_s = 3,0$								
1	0,0	0,97	0,88	0,80	0,75	0,71	0,68	0,63
	0,5	0,97	0,88	0,76	0,72	0,66	0,64	0,60
	0,9	0,94	0,84	0,69	0,63	0,56	0,53	0,49
5	0,0	0,91	0,79	0,69	0,62	0,58	0,55	0,50
	0,5	0,91	0,78	0,67	0,60	0,55	0,52	0,47
	0,9	0,84	0,70	0,54	0,48	0,42	0,39	0,36
10	0,0	0,85	0,72	0,62	0,56	0,50	0,47	0,44
	0,5	0,84	0,71	0,60	0,54	0,47	0,45	0,42
	0,9	0,76	0,60	0,46	0,40	0,36	0,33	0,30

Таблица 3

 α %-ные критические значения статистики Диксона (D_3N)

$\alpha, \%$	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s = 0,0$								
1	0,0	0,95	0,73	0,51	0,43	0,36	0,34	0,3
	0,5	0,94	0,72	0,49	0,40	0,34	0,31	0,28
	0,9	0,94	0,71	0,45	0,37	0,30	0,26	0,22
5	0,0	0,88	0,61	0,42	0,36	0,30	0,27	0,24
	0,5	0,88	0,61	0,41	0,35	0,28	0,25	0,22
	0,9	0,87	0,59	0,35	0,28	0,22	0,20	0,17
10	0,0	0,82	0,55	0,37	0,31	0,26	0,24	0,21
	0,5	0,82	0,54	0,36	0,30	0,25	0,23	0,20
	0,9	0,81	0,53	0,30	0,24	0,19	0,17	0,14
$C_s = 0,5$								
1	0,0	0,95	0,76	0,58	0,52	0,45	0,43	0,38
	0,5	0,95	0,76	0,56	0,49	0,42	0,40	0,36
	0,9	0,94	0,75	0,49	0,39	0,33	0,31	0,27
5	0,0	0,89	0,66	0,50	0,43	0,38	0,34	0,31
	0,5	0,89	0,65	0,47	0,41	0,35	0,34	0,29
	0,9	0,87	0,62	0,38	0,32	0,26	0,24	0,21
10	0,0	0,85	0,61	0,45	0,39	0,33	0,30	0,28
	0,5	0,84	0,59	0,43	0,37	0,31	0,28	0,26
	0,9	0,82	0,55	0,34	0,28	0,22	0,21	0,18
$C_s = 1,0$								
1	0,0	0,96	0,8	0,64	0,60	0,53	0,50	0,46
	0,5	0,96	0,8	0,62	0,57	0,50	0,47	0,44
	0,9	0,95	0,77	0,53	0,46	0,38	0,36	0,33
5	0,0	0,91	0,71	0,56	0,50	0,45	0,41	0,38
	0,5	0,90	0,70	0,54	0,49	0,43	0,40	0,36
	0,9	0,88	0,64	0,43	0,37	0,31	0,29	0,26
10	0,0	0,87	0,66	0,51	0,46	0,40	0,36	0,34
	0,5	0,86	0,64	0,49	0,43	0,37	0,33	0,31
	0,9	0,84	0,58	0,38	0,32	0,27	0,25	0,22

$\alpha, \%$	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s = 1,5$								
1	0,0	0,96	0,84	0,70	0,66	0,60	0,58	0,54
	0,5	0,96	0,84	0,68	0,63	0,56	0,53	0,50
	0,9	0,96	0,80	0,60	0,54	0,46	0,43	0,39
5	0,0	0,93	0,76	0,63	0,57	0,51	0,48	0,44
	0,5	0,92	0,74	0,61	0,55	0,49	0,46	0,42
	0,9	0,89	0,67	0,74	0,41	0,36	0,33	0,30
10	0,0	0,89	0,71	0,58	0,82	0,46	0,42	0,40
	0,5	0,88	0,69	0,54	0,49	0,43	0,39	0,37
	0,9	0,85	0,62	0,42	0,36	0,30	0,30	0,27
$C_s = 2,0$								
1	0,0	0,97	0,88	0,76	0,71	0,66	0,63	0,59
	0,5	0,97	0,87	0,74	0,68	0,63	0,6	0,56
	0,9	0,96	0,85	0,66	0,59	0,52	0,49	0,45
5	0,0	0,94	0,80	0,68	0,63	0,57	0,54	0,50
	0,5	0,94	0,79	0,66	0,61	0,54	0,51	0,47
	0,9	0,91	0,72	0,53	0,46	0,41	0,38	0,35
10	0,0	0,92	0,77	0,63	0,58	0,52	0,48	0,46
	0,5	0,91	0,74	0,60	0,55	0,49	0,45	0,42
	0,9	0,87	0,66	0,48	0,41	0,36	0,33	0,30
$C_s = 3,0$								
1	0,0	0,99	0,95	0,86	0,82	0,76	0,73	0,68
	0,5	0,99	0,95	0,86	0,82	0,74	0,70	0,65
	0,9	0,99	0,94	0,83	0,75	0,64	0,61	0,57
5	0,0	0,98	0,89	0,79	0,73	0,67	0,63	0,59
	0,5	0,98	0,89	0,77	0,72	0,65	0,61	0,56
	0,9	0,96	0,85	0,69	0,60	0,52	0,50	0,46
10	0,0	0,96	0,85	0,75	0,69	0,62	0,58	0,54
	0,5	0,96	0,84	0,72	0,66	0,59	0,55	0,51
	0,9	0,92	0,78	0,61	0,53	0,46	0,44	0,41

Таблица 4

 α %-ные критические значения статистики Диксона ($D4_N$)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S = 0,0$								
1	0,0	0,997	0,79	0,54	0,46	0,39	0,36	0,31
	0,5	0,996	0,79	0,52	0,44	0,36	0,32	0,28
	0,9	0,995	0,77	0,48	0,40	0,30	0,26	0,23
5	0,0	0,98	0,68	0,45	0,38	0,32	0,28	0,25
	0,5	0,98	0,68	0,44	0,37	0,30	0,26	0,23
	0,9	0,97	0,65	0,38	0,29	0,22	0,21	0,18
10	0,0	0,96	0,62	0,40	0,33	0,28	0,25	0,22
	0,5	0,96	0,61	0,39	0,32	0,26	0,23	0,20
	0,9	0,95	0,58	0,33	0,26	0,20	0,18	0,15
$C_S = 0,5$								
1	0,0	0,997	0,82	0,60	0,54	0,47	0,44	0,39
	0,5	0,997	0,82	0,58	0,52	0,44	0,41	0,37
	0,9	0,995	0,79	0,51	0,44	0,35	0,32	0,27
5	0,0	0,98	0,72	0,53	0,45	0,39	0,35	0,32
	0,5	0,98	0,71	0,50	0,43	0,37	0,33	0,30
	0,9	0,97	0,67	0,41	0,33	0,27	0,25	0,22
10	0,0	0,96	0,67	0,46	0,40	0,34	0,31	0,28
	0,5	0,96	0,65	0,44	0,38	0,32	0,29	0,26
	0,9	0,95	0,60	0,36	0,29	0,23	0,21	0,19
$C_S = 1,0$								
1	0,0	0,998	0,85	0,67	0,60	0,54	0,51	0,47
	0,5	0,997	0,84	0,64	0,58	0,50	0,48	0,44
	0,9	0,995	0,81	0,55	0,48	0,40	0,37	0,33
5	0,0	0,98	0,76	0,59	0,52	0,46	0,42	0,39
	0,5	0,98	0,75	0,56	0,49	0,43	0,39	0,36
	0,9	0,98	0,70	0,46	0,39	0,33	0,30	0,27
10	0,0	0,97	0,71	0,53	0,47	0,41	0,37	0,35
	0,5	0,96	0,69	0,50	0,44	0,38	0,34	0,32
	0,9	0,95	0,63	0,39	0,33	0,28	0,26	0,23

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S = 1,5$								
1	0,0	0,998	0,87	0,72	0,66	0,61	0,58	0,54
	0,5	0,998	0,86	0,70	0,63	0,57	0,54	0,50
	0,9	0,996	0,83	0,60	0,53	0,46	0,43	0,38
5	0,0	0,980	0,79	0,65	0,58	0,52	0,48	0,45
	0,5	0,980	0,78	0,61	0,55	0,49	0,46	0,42
	0,9	0,980	0,72	0,50	0,43	0,37	0,35	0,31
10	0,0	0,970	0,75	0,58	0,52	0,46	0,43	0,40
	0,5	0,970	0,73	0,56	0,50	0,44	0,41	0,37
	0,9	0,960	0,65	0,44	0,38	0,33	0,30	0,27
$C_S = 2,0$								
1	0,0	0,998	0,90	0,76	0,71	0,66	0,63	0,59
	0,5	0,998	0,89	0,75	0,69	0,63	0,60	0,56
	0,9	0,997	0,88	0,67	0,60	0,51	0,49	0,45
5	0,0	0,988	0,83	0,70	0,63	0,57	0,54	0,50
	0,5	0,988	0,82	0,67	0,60	0,54	0,51	0,47
	0,9	0,980	0,76	0,54	0,47	0,41	0,38	0,35
10	0,0	0,980	0,79	0,64	0,58	0,52	0,49	0,46
	0,5	0,980	0,77	0,61	0,55	0,49	0,45	0,42
	0,9	0,960	0,70	0,48	0,42	0,36	0,33	0,31
$C_S = 3,0$								
1	0,0	0,999	0,94	0,85	0,81	0,76	0,73	0,68
	0,5	0,999	0,94	0,85	0,81	0,74	0,70	0,65
	0,9	0,999	0,94	0,83	0,77	0,67	0,62	0,57
5	0,0	0,994	0,90	0,80	0,73	0,67	0,63	0,59
	0,5	0,994	0,90	0,78	0,71	0,65	0,61	0,57
	0,9	0,988	0,87	0,70	0,60	0,52	0,50	0,46
10	0,0	0,986	0,86	0,75	0,69	0,62	0,58	0,54
	0,5	0,986	0,85	0,72	0,66	0,60	0,56	0,52
	0,9	0,980	0,80	0,61	0,53	0,47	0,44	0,41

Таблица 5
 α %-ные критические значения статистики Диксона ($D5_N$)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S = 0$								
1	0,0	0,84	0,63	0,46	0,40	0,35	0,32	0,28
	0,5	0,84	0,63	0,46	0,40	0,32	0,30	0,26
	0,9	0,84	0,63	0,42	0,35	0,26	0,24	0,21
5	0,0	0,74	0,53	0,38	0,32	0,28	0,25	0,23
	0,5	0,74	0,53	0,37	0,31	0,27	0,24	0,22
	0,9	0,73	0,52	0,32	0,26	0,21	0,19	0,16
10	0,0	0,67	0,47	0,33	0,28	0,24	0,22	0,20
	0,5	0,66	0,46	0,32	0,27	0,23	0,21	0,18
	0,9	0,66	0,45	0,28	0,23	0,18	0,16	0,14
$C_S = 0,5$								
1	0,0	0,88	0,69	0,54	0,49	0,44	0,41	0,37
	0,5	0,88	0,69	0,53	0,47	0,41	0,38	0,34
	0,9	0,85	0,67	0,46	0,39	0,32	0,30	0,26
5	0,0	0,79	0,59	0,45	0,41	0,36	0,33	0,30
	0,5	0,78	0,58	0,44	0,40	0,35	0,32	0,29
	0,9	0,75	0,56	0,36	0,30	0,25	0,23	0,21
10	0,0	0,70	0,54	0,52	0,37	0,32	0,29	0,27
	0,5	0,69	0,52	0,39	0,35	0,30	0,27	0,25
	0,9	0,68	0,49	0,32	0,26	0,22	0,20	0,17
$C_S = 1,0$								
1	0,0	0,90	0,75	0,62	0,58	0,53	0,50	0,45
	0,5	0,89	0,74	0,60	0,55	0,49	0,46	0,42
	0,9	0,86	0,72	0,52	0,45	0,38	0,36	0,31
5	0,0	0,82	0,65	0,54	0,49	0,44	0,41	0,38
	0,5	0,81	0,64	0,52	0,47	0,41	0,39	0,35
	0,9	0,77	0,59	0,41	0,35	0,30	0,28	0,26
10	0,0	0,77	0,61	0,49	0,44	0,39	0,36	0,34
	0,5	0,75	0,58	0,46	0,41	0,36	0,33	0,31
	0,9	0,71	0,53	0,36	0,31	0,26	0,25	0,22

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S = 1,5$								
1	0,0	0,93	0,80	0,69	0,64	0,60	0,57	0,52
	0,5	0,92	0,79	0,67	0,60	0,56	0,53	0,49
	0,9	0,89	0,78	0,58	0,52	0,46	0,42	0,38
5	0,0	0,86	0,72	0,61	0,56	0,51	0,48	0,44
	0,5	0,85	0,70	0,58	0,54	0,48	0,46	0,42
	0,9	0,80	0,64	0,46	0,41	0,36	0,34	0,31
10	0,0	0,82	0,67	0,56	0,51	0,45	0,42	0,40
	0,5	0,80	0,65	0,53	0,48	0,43	0,40	0,37
	0,9	0,74	0,57	0,40	0,35	0,31	0,29	0,26
$C_S = 2,0$								
1	0,0	0,96	0,86	0,75	0,71	0,66	0,63	0,58
	0,5	0,95	0,85	0,74	0,69	0,63	0,60	0,55
	0,9	0,91	0,83	0,66	0,59	0,51	0,48	0,44
5	0,0	0,90	0,78	0,68	0,62	0,57	0,54	0,50
	0,5	0,89	0,77	0,66	0,60	0,55	0,52	0,47
	0,9	0,84	0,70	0,53	0,48	0,42	0,40	0,36
10	0,0	0,86	0,74	0,63	0,57	0,51	0,48	0,45
	0,5	0,85	0,71	0,60	0,55	0,49	0,46	0,42
	0,9	0,78	0,63	0,47	0,41	0,36	0,33	0,31
$C_S = 3,0$								
1	0,0	0,99	0,93	0,85	0,81	0,76	0,73	0,68
	0,5	0,99	0,93	0,85	0,81	0,74	0,70	0,65
	0,9	0,98	0,92	0,83	0,77	0,68	0,62	0,56
5	0,0	0,97	0,88	0,79	0,73	0,67	0,63	0,59
	0,5	0,96	0,87	0,77	0,71	0,65	0,61	0,57
	0,9	0,93	0,84	0,69	0,60	0,52	0,50	0,46
10	0,0	0,94	0,85	0,74	0,69	0,62	0,58	0,54
	0,5	0,93	0,84	0,72	0,67	0,60	0,56	0,52
	0,9	0,87	0,77	0,60	0,52	0,46	0,44	0,41

Таблица 6
 α %-ные критические значения статистики Диксона ($D1_1$)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s = 0,0$								
1	0,0	0,70	0,53	0,39	0,34	0,28	0,24	0,21
	0,5	0,69	0,51	0,38	0,29	0,26	0,22	0,19
	0,9	0,69	0,49	0,35	0,25	0,20	0,19	0,17
5	0,0	0,56	0,41	0,30	0,26	0,21	0,19	0,16
	0,5	0,56	0,40	0,29	0,25	0,20	0,17	0,15
	0,9	0,56	0,36	0,24	0,19	0,15	0,13	0,12
10	0,0	0,48	0,35	0,25	0,21	0,17	0,15	0,13
	0,5	0,48	0,34	0,24	0,18	0,16	0,14	0,12
	0,9	0,47	0,30	0,20	0,15	0,12	0,11	0,09
$C_s = 0,5$								
1	0,0	0,65	0,45	0,31	0,25	0,19	0,16	0,14
	0,5	0,65	0,45	0,31	0,25	0,19	0,16	0,14
	0,9	0,65	0,45	0,29	0,22	0,16	0,15	0,13
5	0,0	0,51	0,34	0,22	0,18	0,14	0,12	0,10
	0,5	0,51	0,34	0,22	0,18	0,14	0,12	0,10
	0,9	0,51	0,33	0,21	0,16	0,12	0,10	0,09
10	0,0	0,44	0,29	0,18	0,14	0,11	0,10	0,09
	0,5	0,44	0,29	0,18	0,14	0,11	0,10	0,09
	0,9	0,44	0,28	0,17	0,12	0,10	0,08	0,07
$C_s = 1,0$								
1	0,0	0,58	0,38	0,22	0,17	0,12	0,09	0,08
	0,5	0,62	0,38	0,22	0,17	0,12	0,09	0,08
	0,9	0,66	0,43	0,26	0,18	0,12	0,09	0,08
5	0,0	0,44	0,27	0,16	0,12	0,08	0,07	0,06
	0,5	0,46	0,27	0,16	0,12	0,08	0,07	0,06
	0,9	0,52	0,30	0,17	0,13	0,09	0,07	0,06
10	0,0	0,37	0,23	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05
	0,5	0,39	0,24	0,13	0,09	0,07	0,06	0,05
	0,9	0,42	0,25	0,14	0,10	0,07	0,06	0,05

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s = 1,5$								
1	0,0	0,51	0,30	0,14	0,10	0,06	0,04	0,03
	0,5	0,57	0,32	0,17	0,11	0,07	0,05	0,04
	0,9	0,63	0,39	0,22	0,14	0,09	0,06	0,05
5	0,0	0,38	0,20	0,10	0,07	0,04	0,03	0,02
	0,5	0,41	0,22	0,11	0,07	0,04	0,03	0,02
	0,9	0,48	0,27	0,14	0,10	0,06	0,04	0,03
10	0,0	0,31	0,17	0,08	0,05	0,03	0,025	0,02
	0,5	0,34	0,18	0,09	0,06	0,04	0,025	0,02
	0,9	0,39	0,22	0,11	0,07	0,045	0,03	0,02
$C_s = 2,0$								
1	0,0	0,45	0,22	0,09	0,05	0,025	0,015	0,01
	0,5	0,52	0,25	0,11	0,06	0,03	0,02	0,01
	0,9	0,60	0,35	0,18	0,11	0,06	0,04	0,03
5	0,0	0,31	0,14	0,06	0,03	0,015	0,01	0,007
	0,5	0,36	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0,007
	0,9	0,45	0,24	0,11	0,07	0,04	0,02	0,015
10	0,0	0,24	0,11	0,04	0,02	0,01	0,008	0,005
	0,5	0,29	0,13	0,05	0,03	0,01	0,008	0,005
	0,9	0,36	0,19	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01
$C_s = 3,0$								
1	0,0	0,32	0,11	0,02	0,008	0,002	0,001	0,000
	0,5	0,43	0,15	0,04	0,01	0,004	0,002	0,001
	0,9	0,56	0,29	0,12	0,07	0,03	0,015	0,007
5	0,0	0,20	0,06	0,009	0,003	0,001	0,000	0,000
	0,5	0,27	0,09	0,02	0,006	0,002	0,001	0,000
	0,9	0,39	0,18	0,07	0,03	0,01	0,005	0,002
10	0,0	0,14	0,04	0,006	0,002	0,001	0,000	0,000
	0,5	0,18	0,06	0,01	0,003	0,001	0,000	0,000
	0,9	0,30	0,13	0,05	0,02	0,006	0,003	0,001

Таблица 7
 α %-ные критические значения статистики Диксона ($D2_1$)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=0,0$								
1	0,0	0,81	0,60	0,43	0,37	0,29	0,25	0,22
	0,5	0,81	0,60	0,41	0,35	0,28	0,34	0,21
	0,9	0,84	0,57	0,36	0,28	0,22	0,20	0,18
5	0,0	0,69	0,48	0,33	0,28	0,22	0,19	0,17
	0,5	0,69	0,47	0,31	0,26	0,21	0,18	0,16
	0,9	0,68	0,41	0,26	0,20	0,16	0,14	0,12
10	0,0	0,61	0,41	0,28	0,24	0,18	0,16	0,14
	0,5	0,61	0,40	0,27	0,23	0,17	0,15	0,13
	0,9	0,58	0,35	0,22	0,17	0,13	0,11	0,10
$C_s=0,5$								
1	0,0	0,79	0,54	0,35	0,28	0,21	0,18	0,15
	0,5	0,79	0,54	0,34	0,27	0,21	0,18	0,15
	0,9	0,79	0,54	0,33	0,24	0,17	0,15	0,14
5	0,0	0,65	0,43	0,26	0,20	0,19	0,14	0,12
	0,5	0,65	0,41	0,25	0,19	0,15	0,13	0,11
	0,9	0,65	0,38	0,23	0,17	0,13	0,11	0,09
10	0,0	0,57	0,36	0,22	0,17	0,13	0,11	0,10
	0,5	0,57	0,35	0,21	0,16	0,13	0,11	0,10
	0,9	0,56	0,33	0,19	0,14	0,10	0,08	0,07
$C_s=1,0$								
1	0,0	0,76	0,47	0,27	0,19	0,14	0,11	0,09
	0,5	0,78	0,49	0,27	0,19	0,14	0,11	0,09
	0,9	0,32	0,51	0,29	0,19	0,14	0,11	0,09
5	0,0	0,60	0,36	0,19	0,14	0,10	0,08	0,07
	0,5	0,62	0,36	0,19	0,14	0,10	0,08	0,07
	0,9	0,64	0,37	0,20	0,14	0,10	0,08	0,07
10	0,0	0,52	0,30	0,15	0,11	0,08	0,07	0,06
	0,5	0,53	0,30	0,15	0,11	0,08	0,07	0,06
	0,9	0,54	0,30	0,16	0,11	0,08	0,07	0,06

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=1,5$								
1	0,0	0,73	0,39	0,20	0,12	0,07	0,05	0,04
	0,5	0,76	0,42	0,21	0,13	0,08	0,06	0,04
	0,9	0,80	0,47	0,25	0,16	0,10	0,07	0,05
5	0,0	0,55	0,28	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03
	0,5	0,57	0,29	0,14	0,08	0,05	0,04	0,03
	0,9	0,62	0,33	0,16	0,11	0,06	0,05	0,04
10	0,0	0,46	0,23	0,10	0,07	0,04	0,08	0,02
	0,5	0,48	0,24	0,11	0,07	0,04	0,03	0,02
	0,9	0,52	0,27	0,13	0,08	0,05	0,04	0,03
$C_s=2,0$								
1	0,0	0,68	0,32	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01
	0,5	0,73	0,35	0,14	0,07	0,04	0,02	0,015
	0,9	0,78	0,44	0,20	0,13	0,07	0,04	0,03
5	0,0	0,49	0,21	0,08	0,04	0,02	0,01	0,008
	0,5	0,52	0,23	0,08	0,04	0,02	0,01	0,52
	0,9	0,60	0,29	0,13	0,08	0,04	0,03	0,02
10	0,0	0,39	0,16	0,05	0,03	0,015	0,01	0,006
	0,5	0,43	0,19	0,06	0,03	0,015	0,01	0,006
	0,9	0,49	0,24	0,10	0,06	0,03	0,02	0,01
$C_s=3,0$								
1	0,0	0,57	0,18	0,03	0,01	0,003	0,001	0,001
	0,5	0,66	0,23	0,06	0,02	0,005	0,002	0,001
	0,9	0,79	0,39	0,13	0,08	0,03	0,015	0,009
5	0,0	0,37	0,10	0,01	0,005	0,001	0,001	0
	0,5	0,42	0,13	0,02	0,008	0,002	0,001	0
	0,9	0,55	0,23	0,09	0,040	0,010	0,006	0,003
10	0,0	0,23	0,06	0,008	0,003	0,001	0	0
	0,5	0,32	0,09	0,015	0,005	0,001	0	0
	0,9	0,44	0,17	0,06	0,025	0,007	0,003	0,001

Таблица 8
 α %-ные критические значения статистики Диксона (D_3)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=0,0$								
1	0,0	0,95	0,73	0,51	0,43	0,32	0,3	0,26
	0,5	0,95	0,72	0,49	0,40	0,30	0,28	0,25
	0,9	0,95	0,70	0,45	0,37	0,28	0,25	0,24
5	0,0	0,87	0,61	0,42	0,36	0,28	0,24	0,22
	0,5	0,87	0,61	0,41	0,35	0,27	0,23	0,20
	0,9	0,87	0,59	0,37	0,29	0,22	0,20	0,17
10	0,0	0,82	0,55	0,37	0,31	0,25	0,21	0,19
	0,5	0,82	0,55	0,36	0,30	0,24	0,20	0,18
	0,9	0,82	0,52	0,32	0,24	0,19	0,16	0,14
$C_s=0,5$								
1	0,0	0,92	0,67	0,42	0,33	0,24	0,22	0,19
	0,5	0,92	0,67	0,41	0,32	0,23	0,21	0,18
	0,9	0,95	0,67	0,41	0,32	0,23	0,21	0,18
5	0,0	0,87	0,56	0,34	0,27	0,20	0,17	0,15
	0,5	0,87	0,56	0,34	0,25	0,20	0,17	0,15
	0,9	0,87	0,56	0,33	0,24	0,17	0,15	0,13
10	0,0	0,80	0,51	0,30	0,23	0,18	0,15	0,13
	0,5	0,80	0,51	0,29	0,22	0,18	0,15	0,13
	0,9	0,80	0,49	0,28	0,20	0,15	0,13	0,10
$C_s=1,0$								
1	0,0	0,91	0,61	0,33	0,24	0,16	0,14	0,10
	0,5	0,92	0,62	0,34	0,25	0,17	0,14	0,10
	0,9	0,95	0,64	0,37	0,23	0,18	0,15	0,12
5	0,0	0,83	0,49	0,26	0,19	0,13	0,10	0,09
	0,5	0,84	0,52	0,27	0,19	0,13	0,10	0,09
	0,9	0,87	0,53	0,28	0,20	0,14	0,11	0,09
10	0,0	0,77	0,44	0,23	0,16	0,11	0,09	0,08
	0,5	0,78	0,44	0,23	0,16	0,11	0,09	0,08
	0,9	0,80	0,46	0,24	0,16	0,11	0,09	0,08

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=1,5$								
1	0,0	0,90	0,53	0,23	0,16	0,10	0,07	0,05
	0,5	0,90	0,57	0,26	0,17	0,11	0,08	0,06
	0,9	0,95	0,62	0,34	0,23	0,13	0,10	0,08
5	0,0	0,80	0,42	0,18	0,11	0,07	0,05	0,04
	0,5	0,82	0,46	0,20	0,12	0,08	0,05	0,04
	0,9	0,85	0,49	0,24	0,16	0,10	0,07	0,06
10	0,0	0,74	0,37	0,16	0,10	0,06	0,04	0,03
	0,5	0,75	0,38	0,16	0,10	0,06	0,04	0,03
	0,9	0,78	0,43	0,20	0,13	0,08	0,06	0,04
$C_s=2,0$								
1	0,0	0,88	0,47	0,17	0,09	0,045	0,03	0,02
	0,5	0,89	0,52	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02
	0,9	0,94	0,59	0,30	0,19	0,10	0,07	0,055
5	0,0	0,78	0,35	0,11	0,06	0,03	0,02	0,01
	0,5	0,79	0,33	0,14	0,07	0,03	0,02	0,01
	0,9	0,84	0,47	0,20	0,12	0,065	0,04	0,03
10	0,0	0,69	0,29	0,10	0,05	0,025	0,015	0,01
	0,5	0,72	0,32	0,11	0,06	0,03	0,02	0,01
	0,9	0,77	0,39	0,16	0,10	0,05	0,03	0,02
$C_s=3,0$								
1	0,0	0,84	0,33	0,06	0,02	0,006	0,002	0,001
	0,5	0,87	0,42	0,10	0,03	0,008	0,004	0,002
	0,9	0,94	0,52	0,23	0,12	0,05	0,025	0,015
5	0,0	0,70	0,21	0,03	0,01	0,003	0,001	0,001
	0,5	0,73	0,27	0,05	0,015	0,004	0,002	0,001
	0,9	0,81	0,40	0,14	0,07	0,020	0,010	0,006
10	0,0	0,59	0,15	0,02	0,008	0,002	0,001	0
	0,5	0,63	0,20	0,03	0,01	0,003	0,001	0
	0,9	0,73	0,31	0,10	0,05	0,015	0,007	0,003

Таблица 9
 α %-ные критические значения статистики Диксона ($D4_1$)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=0$								
1	0,0	0,997	0,79	0,54	0,46	0,35	0,31	0,27
	0,5	0,996	0,78	0,52	0,44	0,34	0,30	0,26
	0,9	0,994	0,74	0,47	0,39	0,29	0,27	0,24
5	0,0	0,98	0,68	0,45	0,38	0,30	0,26	0,23
	0,5	0,98	0,68	0,44	0,35	0,28	0,24	0,21
	0,9	0,98	0,64	0,40	0,30	0,22	0,20	0,18
10	0,0	0,96	0,62	0,40	0,33	0,26	0,22	0,20
	0,5	0,96	0,62	0,39	0,31	0,25	0,21	0,19
	0,9	0,96	0,53	0,34	0,25	0,20	0,17	0,15
$C_s=0,5$								
1	0,0	0,996	0,75	0,47	0,35	0,27	0,23	0,19
	0,5	0,996	0,75	0,46	0,35	0,27	0,23	0,19
	0,9	0,993	0,72	0,44	0,34	0,24	0,21	0,18
5	0,0	0,98	0,64	0,38	0,30	0,22	0,18	0,16
	0,5	0,98	0,64	0,38	0,28	0,21	0,17	0,15
	0,9	0,97	0,62	0,36	0,26	0,18	0,16	0,14
10	0,0	0,95	0,58	0,34	0,25	0,20	0,16	0,14
	0,5	0,95	0,58	0,32	0,24	0,19	0,15	0,13
	0,9	0,95	0,55	0,30	0,22	0,16	0,13	0,11
$C_s=1,0$								
1	0,0	0,996	0,70	0,38	0,26	0,18	0,15	0,11
	0,5	0,996	0,70	0,38	0,26	0,18	0,15	0,11
	0,9	0,998	0,70	0,40	0,30	0,20	0,17	0,14
5	0,0	0,97	0,60	0,30	0,20	0,14	0,11	0,09
	0,5	0,97	0,60	0,30	0,20	0,14	0,11	0,09
	0,9	0,97	0,60	0,32	0,22	0,14	0,11	0,09
10	0,0	0,95	0,52	0,26	0,18	0,13	0,10	0,08
	0,5	0,95	0,52	0,26	0,18	0,13	0,10	0,08
	0,9	0,95	0,52	0,27	0,18	0,13	0,10	0,08

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=1,5$								
1	0,0	0,996	0,65	0,29	0,18	0,10	0,08	0,05
	0,5	0,996	0,68	0,30	0,19	0,11	0,09	0,06
	0,9	0,992	0,69	0,37	0,25	0,14	0,11	0,08
5	0,0	0,97	0,53	0,21	0,14	0,09	0,06	0,04
	0,5	0,97	0,54	0,23	0,15	0,10	0,06	0,04
	0,9	0,97	0,56	0,27	0,17	0,11	0,08	0,06
10	0,0	0,94	0,44	0,18	0,12	0,08	0,05	0,08
	0,5	0,94	0,46	0,19	0,13	0,09	0,06	0,04
	0,9	0,95	0,49	0,23	0,14	0,10	0,07	0,05
$C_s=2,0$								
1	0,0	0,995	0,59	0,21	0,11	0,05	0,03	0,02
	0,5	0,995	0,64	0,22	0,12	0,06	0,04	0,02
	0,9	0,992	0,64	0,32	0,20	0,11	0,08	0,06
5	0,0	0,96	0,45	0,14	0,075	0,035	0,02	0,015
	0,5	0,96	0,48	0,16	0,08	0,04	0,025	0,015
	0,9	0,97	0,53	0,23	0,13	0,07	0,045	0,03
10	0,0	0,93	0,37	0,11	0,06	0,03	0,02	0,01
	0,5	0,93	0,40	0,13	0,065	0,03	0,02	0,01
	0,9	0,94	0,46	0,18	0,11	0,055	0,035	0,02
$C_s=3,0$								
1	0,0	0,993	0,48	0,09	0,025	0,008	0,03	0,001
	0,5	0,994	0,55	0,11	0,035	0,01	0,005	0,002
	0,9	0,997	0,58	0,22	0,12	0,055	0,03	0,02
5	0,0	0,94	0,30	0,04	0,015	0,004	0,001	0,001
	0,5	0,95	0,36	0,06	0,02	0,006	0,002	0,001
	0,9	0,97	0,47	0,16	0,08	0,03	0,015	0,006
10	0,0	0,90	0,23	0,03	0,01	0,002	0,001	0
	0,5	0,91	0,28	0,04	0,01	0,004	0,001	0,001
	0,9	0,93	0,39	0,12	0,055	0,02	0,008	0,003

Таблица 10
 α %-ные критические значения статистики Диксона ($D5_1$)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_s=0,0$								
1	0,0	0,84	0,63	0,46	0,10	0,32	0,28	0,24
	0,5	0,84	0,63	0,45	0,38	0,31	0,27	0,24
	0,9	0,84	0,63	0,43	0,35	0,28	0,24	0,23
5	0,0	0,74	0,53	0,37	0,32	0,26	0,23	0,20
	0,5	0,74	0,53	0,37	0,30	0,25	0,22	0,19
	0,9	0,74	0,51	0,34	0,26	0,20	0,18	0,16
10	0,0	0,67	0,47	0,33	0,28	0,23	0,20	0,18
	0,5	0,67	0,47	0,32	0,27	0,22	0,19	0,17
	0,9	0,67	0,45	0,29	0,23	0,18	0,16	0,14
$C_s=0,5$								
1	0,0	0,89	0,55	0,38	0,31	0,22	0,19	0,17
	0,5	0,83	0,58	0,38	0,31	0,22	0,19	0,17
	0,9	0,83	0,60	0,39	0,31	0,22	0,19	0,17
5	0,0	0,68	0,45	0,30	0,23	0,13	0,16	0,14
	0,5	0,72	0,45	0,30	0,23	0,18	0,16	0,14
	0,9	0,73	0,45	0,29	0,22	0,16	0,14	0,12
10	0,0	0,62	0,40	0,26	0,21	0,16	0,14	0,12
	0,5	0,64	0,40	0,25	0,20	0,15	0,13	0,11
	0,9	0,66	0,40	0,25	0,18	0,14	0,12	0,10
$C_s=1,0$								
1	0,0	0,76	0,49	0,28	0,22	0,14	0,11	0,10
	0,5	0,82	0,52	0,29	0,23	0,15	0,12	0,10
	0,9	0,82	0,57	0,35	0,25	0,17	0,15	0,12
5	0,0	0,64	0,39	0,22	0,16	0,12	0,09	0,08
	0,5	0,68	0,41	0,23	0,16	0,12	0,09	0,08
	0,9	0,71	0,45	0,26	0,18	0,13	0,10	0,08
10	0,0	0,57	0,33	0,19	0,14	0,10	0,08	0,07
	0,5	0,60	0,35	0,19	0,14	0,10	0,08	0,07
	0,9	0,64	0,38	0,22	0,15	0,10	0,08	0,07

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S=1,5$								
1	0,0	0,72	0,43	0,20	0,14	0,08	0,06	0,04
	0,5	0,80	0,46	0,22	0,15	0,09	0,07	0,05
	0,9	0,80	0,55	0,31	0,20	0,12	0,10	0,03
5	0,0	0,59	0,31	0,14	0,10	0,06	0,04	0,03
	0,5	0,64	0,35	0,16	0,11	0,06	0,05	0,03
	0,9	0,69	0,42	0,21	0,14	0,08	0,06	0,05
10	0,0	0,50	0,26	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03
	0,5	0,55	0,29	0,13	0,09	0,05	0,04	0,03
	0,9	0,62	0,35	0,18	0,11	0,07	0,05	0,04
$C_S=2,0$								
1	0,0	0,68	0,36	0,13	0,07	0,04	0,02	0,015
	0,5	0,76	0,40	0,15	0,09	0,04	0,03	0,03
	0,9	0,79	0,51	0,27	0,17	0,08	0,06	0,05
5	0,0	0,54	0,24	0,09	0,05	0,025	0,015	0,01
	0,5	0,54	0,29	0,11	0,06	0,03	0,02	0,01
	0,9	0,66	0,33	0,17	0,10	0,06	0,04	0,03
10	0,0	0,44	0,19	0,07	0,04	0,02	0,01	0,008
	0,5	0,44	0,23	0,08	0,045	0,02	0,015	0,009
	0,9	0,58	0,31	0,14	0,085	0,045	0,03	0,02
$C_S=3,0$								
1	0,0	0,58	0,22	0,04	0,01	0,004	0,002	0,001
	0,5	0,69	0,29	0,07	0,025	0,006	0,004	0,001
	0,9	0,75	0,44	0,20	0,10	0,045	0,02	0,015
5	0,0	0,41	0,12	0,02	0,008	0,002	0,001	0
	0,5	0,48	0,18	0,035	0,01	0,004	0,001	0,001
	0,9	0,60	0,31	0,11	0,055	0,02	0,01	0,005
10	0,0	0,32	0,09	0,015	0,005	0,001	0,001	0
	0,5	0,40	0,13	0,025	0,007	0,002	0,001	0
	0,9	0,52	0,23	0,09	0,04	0,01	0,006	0,003

Таблица 11
 а %-ные критические значения статистики Смирнова-Граббса (G_N)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)					
		6	10	20	30	50	70
$C_S=0$							
1	0,0	1,95	2,43	2,94	3,17	3,38	3,52
	0,5	1,94	2,39	2,84	3,11	3,35	3,50
	0,9	1,92	2,30	2,67	2,86	3,08	3,10
5	0,0	1,84	2,17	2,60	2,79	3,00	3,10
	0,5	1,83	2,15	2,52	2,74	2,93	3,02
	0,9	1,80	2,10	2,37	2,51	2,67	2,79
10	0,0	1,75	2,04	2,44	2,60	2,85	2,91
	0,5	1,73	2,03	2,36	2,54	2,78	2,88
	0,9	1,70	1,99	2,22	2,34	2,52	2,62
$C_S=0,5$							
1	0,0	1,98	2,54	3,26	3,60	3,97	4,26
	0,5	1,98	2,50	3,17	3,52	3,90	4,21
	0,9	1,93	2,47	2,88	3,12	3,44	3,67
5	0,0	1,89	2,32	2,89	3,18	3,52	3,69
	0,5	1,88	2,29	2,80	3,10	3,43	3,61
	0,9	1,82	2,22	2,53	2,71	2,97	3,12
10	0,0	1,81	2,19	2,70	2,99	3,28	3,46
	0,5	1,79	2,16	2,64	2,88	3,20	3,39
	0,9	1,73	2,06	2,35	2,54	2,78	2,94
$C_S=1,0$							
1	0,0	2,00	2,64	3,53	3,96	4,59	4,96
	0,5	2,00	2,59	3,42	3,87	4,42	4,83
	0,9	1,96	2,52	3,06	3,36	3,72	4,10
5	0,0	1,93	2,46	3,18	3,54	4,00	4,24
	0,5	1,92	2,43	3,05	3,45	3,93	4,19
	0,9	1,85	2,29	2,68	2,92	3,25	3,50
10	0,0	1,87	2,34	2,98	3,34	3,74	3,98
	0,5	1,85	2,29	2,88	3,20	3,61	3,84
	0,9	1,77	2,13	2,49	2,74	3,05	3,26

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S = 1,5$								
1	0,0	2,02	2,71	3,73	4,29	5,06	5,54	5,86
	0,5	2,02	2,68	3,58	4,19	4,90	5,40	5,76
	0,9	1,98	2,57	3,25	3,70	4,18	4,54	4,70
5	0,0	1,97	2,57	3,42	3,87	4,43	4,81	5,06
	0,5	1,96	2,53	3,30	3,74	4,28	4,70	4,94
	0,9	1,89	2,38	2,86	3,15	3,57	3,92	4,17
10	0,0	1,92	2,47	3,23	3,66	4,14	4,46	4,77
	0,5	1,90	2,40	3,11	3,52	4,00	4,32	4,60
	0,9	1,80	2,22	2,66	2,96	3,35	3,59	3,87
$C_S = 2,0$								
1	0,0	2,03	2,76	3,91	4,57	5,49	6,08	6,51
	0,5	2,03	2,75	3,85	4,48	5,31	5,97	6,39
	0,9	1,99	2,65	3,44	4,04	4,62	5,01	5,24
5	0,0	2,00	2,65	3,62	4,14	4,86	5,30	5,62
	0,5	1,99	2,62	3,51	4,04	4,67	5,14	5,50
	0,9	1,92	2,48	3,06	3,42	3,92	4,30	4,58
10	0,0	1,96	2,57	3,44	3,92	4,49	4,91	5,28
	0,5	1,95	2,52	3,33	3,79	4,35	4,79	5,08
	0,9	1,85	2,33	2,85	3,17	3,66	3,94	4,26
$C_S = 3,0$								
1	0,0	2,04	2,82	4,10	4,93	6,06	6,88	7,63
	0,5	2,04	2,82	4,04	4,87	5,94	6,68	7,47
	0,9	2,03	2,80	3,94	4,51	5,23	5,95	6,37
5	0,0	2,03	2,77	3,91	4,59	5,51	6,11	6,63
	0,5	2,03	2,75	3,84	4,51	5,34	6,00	6,41
	0,9	2,00	2,67	3,56	4,00	4,61	5,10	5,50
10	0,0	2,01	2,72	3,76	4,38	5,15	5,67	6,23
	0,5	2,01	2,68	3,68	4,28	5,02	5,56	5,95
	0,9	1,94	2,54	3,30	3,69	4,25	4,70	5,12

Таблица 12
 α %-ные критические значения статистики Смирнова-Граббса (G_1)

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S=0$								
1	0,0	1,95	2,43	2,94	3,17	3,38	3,52	3,54
	0,5	1,94	2,39	2,84	3,11	3,35	3,50	3,51
	0,9	1,92	2,30	2,67	2,86	3,08	3,10	3,18
5	0,0	1,84	2,17	2,60	2,79	3,00	3,10	3,21
	0,5	1,83	2,15	2,52	2,74	2,93	3,02	3,15
	0,9	1,80	2,10	2,37	2,51	2,67	2,79	2,90
10	0,0	1,75	2,04	2,44	2,60	2,85	2,91	3,02
	0,5	1,73	2,03	2,36	2,54	2,78	2,88	2,97
	0,9	1,70	1,99	2,22	2,34	2,52	2,62	2,72
$C_S=0,5$								
1	0,0	1,88	2,27	2,50	2,51	2,53	2,55	2,57
	0,5	1,90	2,28	2,53	2,60	2,63	2,64	2,65
	0,9	1,93	2,29	2,56	2,64	2,72	2,74	2,86
5	0,0	1,74	2,00	2,22	2,28	2,36	2,39	2,42
	0,5	1,76	2,02	2,24	2,30	2,38	2,41	2,44
	0,9	1,78	2,04	2,26	2,32	2,40	2,44	2,48
10	0,0	1,66	1,88	2,09	2,17	2,27	2,29	2,32
	0,5	1,65	1,87	2,07	2,16	2,26	2,28	2,31
	0,9	1,64	1,86	2,06	2,15	2,25	2,27	2,30
$C_S=1,0$								
1	0,0	1,83	2,09	2,12	2,12	2,05	2,03	2,01
	0,5	1,87	2,10	2,17	2,13	2,11	2,11	2,04
	0,9	1,92	2,22	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
5	0,0	1,66	1,80	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
	0,5	1,70	1,86	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
	0,9	1,74	1,94	2,09	2,09	2,10	2,10	2,13
10	0,0	1,56	1,70	1,78	1,80	1,83	1,83	1,83
	0,5	1,60	1,72	1,82	1,83	1,85	1,85	1,85
	0,9	1,65	1,81	1,95	1,95	1,96	1,98	1,99

α , %	Коэффициент автокорреляции $r(1)$	Объем выборки (n)						
		6	10	20	30	50	70	100
$C_S = 1,5$								
1	0,0	1,78	1,91	1,82	1,73	1,66	1,60	1,56
	0,5	1,83	1,93	1,87	1,81	1,70	1,66	1,61
	0,9	1,89	2,11	2,26	2,22	2,10	2,01	2,00
5	0,0	1,56	1,61	1,60	1,57	1,53	1,50	1,48
	0,5	1,62	1,69	1,68	1,62	1,58	1,54	1,51
	0,9	1,71	1,86	1,94	1,87	1,84	1,81	1,79
10	0,0	1,45	1,51	1,50	1,48	1,46	1,44	1,44
	0,5	1,52	1,57	1,56	1,53	1,51	1,48	1,47
	0,9	1,60	1,72	1,79	1,75	1,71	1,70	1,69
$C_S = 2,0$								
1	0,0	1,70	1,71	1,53	1,44	1,35	1,28	1,24
	0,5	1,78	1,77	1,62	1,53	1,43	1,35	1,31
	0,9	1,88	2,04	2,10	1,97	1,84	1,73	1,71
5	0,0	1,46	1,46	1,35	1,30	1,25	1,20	1,17
	0,5	1,54	1,54	1,44	1,36	1,29	1,25	1,22
	0,9	1,66	1,79	1,78	1,69	1,61	1,56	1,52
10	0,0	1,34	1,34	1,27	1,23	1,18	1,15	1,15
	0,5	1,43	1,43	1,35	1,29	1,23	1,20	1,17
	0,9	1,55	1,63	1,63	1,59	1,50	1,46	1,43
$C_S = 3,0$								
1	0,0	1,53	1,38	1,12	1,04	0,97	0,92	0,87
	0,5	1,65	1,52	1,28	1,15	1,04	0,96	0,92
	0,9	1,83	1,87	1,84	1,64	1,46	1,35	1,31
5	0,0	1,26	1,17	1,02	0,94	0,89	0,85	0,82
	0,5	1,38	1,28	1,10	1,03	0,94	0,89	0,85
	0,9	1,76	1,63	1,52	1,41	1,28	1,21	1,12
10	0,0	1,15	1,08	0,95	0,89	0,84	0,81	0,80
	0,5	1,25	1,18	1,02	0,95	0,88	0,85	0,82
	0,9	1,50	1,46	1,38	1,30	1,17	1,10	1,04

Таблица 13

Критические значения статистики Фишера F^* в зависимости от уровня значимости $\alpha(\%)$, коэффициентов внутрирядной $r(1)$ и межрядной корреляции R при равных объемах двух выборок

R	r(1)	$\alpha, \%$												
		0,1	0,5	1	2,5	5	10	15	25	35	40	45	47,5	50
$n_x=n_y=10$														
0,0	0,7	18,6	11,0	8,11	6,19	4,58	3,22	2,59	1,83	1,41	1,26	1,12	1,06	1,00
	0,6	14,4	9,51	7,54	5,63	4,20	2,98	2,42	1,77	1,38	1,25	1,12	1,06	1,00
	0,5	12,6	8,58	6,97	5,16	3,89	2,79	2,29	1,71	1,36	1,24	1,11	1,06	1,00
	0,4	11,7	7,92	6,42	4,79	3,68	2,66	2,20	1,67	1,34	1,23	1,10	1,06	1,00
	0,3	11,1	7,42	6,08	4,52	3,51	2,57	2,15	1,63	1,33	1,22	1,10	1,05	1,00
	0,2	10,5	7,07	5,77	4,32	3,34	2,51	2,08	1,60	1,31	1,21	1,10	1,04	1,00
	0,1	10,2	6,78	5,51	4,16	3,24	2,46	2,04	1,58	1,30	1,20	1,10	1,04	1,00
	0,0	10,1	6,54	5,35	4,03	3,18	2,44	2,02	1,57	1,30	1,19	1,10	1,03	1,00
0,95	0,7	2,47	2,01	1,84	1,63	1,48	1,33	1,25	1,15	1,09	1,03	1,00	1,00	1,00
	0,9	3,47	2,67	2,32	1,98	1,70	1,48	1,37	1,22	1,13	1,07	1,02	1,00	1,00
	0,8	4,89	3,60	3,11	2,49	2,10	1,73	1,56	1,32	1,18	1,12	1,05	1,00	1,00
	0,7	6,21	4,41	8,76	2,93	2,42	1,92	1,69	1,39	1,22	1,15	1,08	1,00	1,00
	0,6	7,28	5,08	4,32	3,30	2,69	2,07	1,79	1,45	1,25	1,17	1,08	1,01	1,00
	0,5	8,20	5,62	4,73	3,58	2,88	2,20	1,86	1,49	1,27	1,18	1,09	1,01	1,00
	0,4	8,97	6,06	5,03	3,80	3,02	2,28	1,93	1,52	1,28	1,18	1,09	1,02	1,00
	0,3	9,51	8,32	5,24	3,94	3,12	2,37	1,99	1,55	1,29	1,18	1,10	1,02	1,00
	0,2	10,0	6,54	5,35	4,03	3,18	2,44	2,02	1,57	1,30	1,19	1,10	1,03	1,00
$n_x=n_y=25$														
0,0	0,7	7,17	5,18	4,39	3,44	2,86	2,22	1,92	1,70	1,88	1,20	1,06	1,02	1,00
	0,6	5,82	4,42	3,80	3,00	2,53	2,04	1,79	1,52	1,24	1,18	1,06	1,02	1,00
	0,5	4,99	3,85	3,39	2,73	2,31	1,90	1,69	1,42	1,22	1,16	1,05	1,02	1,00
	0,4	4,55	3,54	3,11	2,53	2,16	1,80	1,60	1,36	1,19	1,14	1,05	1,02	1,00
	0,3	4,24	3,28	2,90	2,40	2,08	1,75	1,55	1,34	1,17	1,12	1,05	1,02	1,00
	0,2	4,04	3,12	2,76	2,34	2,03	1,72	1,54	1,33	1,17	1,12	1,05	1,02	1,00
	0,1	3,88	3,02	2,68	2,29	2,00	1,71	1,53	1,32	1,17	1,11	1,05	1,02	1,00
	0,0	3,74	2,97	2,66	2,27	1,98	1,70	1,53	1,32	1,17	1,11	1,05	1,02	1,00
0,2	0,7	3,42	2,84	2,60	2,22	1,95	1,67	1,52	1,32	1,17	1,10	1,05	1,02	1,00
	0,3	3,33	2,78	2,54	2,18	1,92	1,64	1,50	1,30	1,16	1,10	1,05	1,02	1,00
	0,4	3,22	2,70	2,46	2,12	1,87	1,61	1,47	1,28	1,15	1,10	1,05	1,02	1,00
	0,5	3,07	2,58	2,34	2,04	1,80	1,57	1,43	1,26	1,14	1,09	1,04	1,02	1,00
	0,6	2,87	2,44	2,21	1,93	1,72	1,51	1,39	1,24	1,13	1,08	1,04	1,02	1,00
	0,7	2,61	2,23	2,03	1,80	1,63	1,44	1,33	1,22	1,11	1,06	1,03	1,02	1,00
	0,8	2,28	1,95	1,82	1,63	1,49	1,36	1,27	1,17	1,09	1,05	1,03	1,02	1,00
	0,9	1,83	1,61	1,55	1,42	1,33	1,25	1,18	1,12	1,06	1,03	1,02	1,01	1,00
0,95	0,7	1,54	1,41	1,37	1,29	1,22	1,18	1,13	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00	1,00

R	r(1)	α , %												
		0,1	0,5	1	2,5	5	10	15	25	35	40	45	47,5	50
$n_x=n_y=50$														
0,0	0,7	4,07	3,31	2,98	2,49	2,16	1,82	1,64	1,40	1,22	1,15	1,07	1,02	1,00
	0,6	2,52	2,90	2,65	2,26	1,97	1,69	1,55	1,34	1,18	1,13	1,06	1,02	1,00
	0,5	3,15	2,62	2,40	2,08	1,82	1,58	1,48	1,30	1,15	1,11	1,05	1,01	1,00
	0,4	2,88	2,42	2,23	1,94	1,72	1,51	1,42	1,25	1,13	1,10	1,04	1,01	1,00
	0,3	2,68	2,27	2,10	1,83	1,65	1,48	1,38	1,22	1,12	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,2	2,58	2,19	2,02	1,79	1,63	1,47	1,37	1,21	1,12	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,1	2,52	2,15	1,99	1,79	1,62	1,47	1,37	1,21	1,12	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,0	2,51	2,15	1,99	1,79	1,62	1,47	1,37	1,21	1,12	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,2													
	0,3													
0,0	0,7	2,51	2,15	1,99	1,79	1,62	1,47	1,37	1,21	1,12	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,6	2,46	2,10	1,94	1,76	1,60	1,46	1,36	1,21	1,12	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,5	2,39	2,05	1,88	1,72	1,57	1,44	1,34	1,20	1,11	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,4													
	0,3													
	0,2	2,3	1,96	1,81	1,67	1,53	1,41	1,32	1,19	1,11	1,09	1,04	1,01	1,00
	0,1	2,17	1,85	1,73	1,60	1,48	1,36	1,30	1,18	1,10	1,08	1,04	1,00	1,00
	0,0	2,01	1,72	1,63	1,52	1,42	1,32	1,26	1,16	1,08	1,06	1,02	1,00	1,00
	0,9													
	0,8													
0,0	0,7	1,80	1,58	1,52	1,42	1,33	1,25	1,2	1,13	1,06	1,04	1,01	1,00	1,00
	0,6	1,54	1,39	1,35	1,28	1,23	1,18	1,14	1,09	1,05	1,03	1,00	1,00	1,00
	0,5													
	0,4													
	0,3													
	0,2	1,32	1,27	1,24	1,20	1,16	1,13	1,10	1,07	1,04	1,03	1,00	1,00	1,00
	0,1													
	0,0													
$n_x=n_y=100$														
0,0	0,7	3,02	2,49	2,28	1,93	1,72	1,52	1,40	1,24	1,13	1,10	1,03	1,00	1,00
	0,6	2,66	2,20	2,03	1,76	1,59	1,44	1,36	1,23	1,12	1,09	1,02	1,00	1,00
	0,5	2,40	2,00	1,85	1,64	1,51	1,39	1,31	1,21	1,11	1,09	1,02	1,00	1,00
	0,4													
	0,3													
	0,2	2,20	1,87	1,76	1,56	1,46	1,36	1,28	1,19	1,10	1,08	1,02	1,00	1,00
	0,1	2,06	1,80	1,70	1,53	1,42	1,34	1,26	1,18	1,10	1,07	1,02	1,00	1,00
	0,0													
	0,9													
	0,8													
0,0	0,7	1,98	1,76	1,67	1,52	1,41	1,33	1,25	1,17	1,10	1,06	1,02	1,00	1,00
	0,6	1,94	1,74	1,65	1,52	1,41	1,32	1,24	1,16	1,09	1,06	1,02	1,00	1,00
	0,5													
	0,4													
	0,3													
	0,2	1,91	1,73	1,64	1,51	1,41	1,31	1,22	1,16	1,08	1,05	1,02	1,00	1,00
	0,1													
	0,0													
	0,9													
	0,8													
	0,7													
	0,6													
	0,5													
	0,4													
	0,3													
	0,2													
	0,1													
	0,0													

Таблица 14

**Критические значения статистик F -распределения для
нормально распределенных независимых случайных
величин при $\alpha=5\%$**

(n_2-1)	Число степеней свободы числителя (n_1-1)									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	1000
10	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	2,09	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
1000	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

Таблица 15

Критические значения статистики Стьюдента (t^*) в зависимости от уровня значимости α (%), коэффициентов внутрирядной ($r(1)$) и межрядной корреляции (R) при равных объемах двух выборок ($n_x = n_y$)

R	r(1)	α , %													
		0,1	0,2	1	2	5	10	20	30	40	70	80	90	95	99
$n_x = n_y = 10; k = n_x + n_y - 2 = 18$															
0,0	0,7	10,0	9,14	7,19	6,35	5,18	4,21	3,22	2,63	1,66	0,93	0,62	0,81	0,13	0,03
	0,6	8,25	7,57	5,74	5,25	4,31	3,51	2,73	2,18	1,38	0,79	0,52	0,26	0,12	0,02
	0,5	6,80	6,24	4,91	4,34	3,56	2,93	2,24	1,82	1,17	0,68	0,45	0,21	0,10	0,00
	0,4	5,93	5,43	4,24	3,79	3,10	2,58	1,95	1,59	1,02	0,58	0,39	0,19	0,09	0,00
	0,3	5,18	4,78	3,77	3,33	2,75	2,27	1,72	1,40	0,91	0,51	0,35	0,18	0,08	0,00
	0,2	4,65	4,33	3,38	3,02	2,47	2,07	1,56	1,26	0,82	0,47	0,32	0,16	0,05	0,00
	0,1	4,23	3,94	3,07	2,76	2,26	1,90	1,43	1,16	0,75	0,43	0,29	0,14	0,03	0,00
	0,0	3,92	3,61	2,88	2,55	2,10	1,73	1,33	1,07	0,69	0,39	0,26	0,12	0,02	0,00
	0,1	3,63	3,34	2,68	2,37	1,94	1,60	1,22	0,99	0,63	0,36	0,23	0,11	0,01	0,00
	0,2	3,35	3,09	2,48	2,19	1,80	1,48	1,12	0,91	0,58	0,33	0,21	0,10	0,00	0,00
0,0	0,3	3,11	2,84	2,29	2,04	1,68	1,38	1,05	0,85	0,54	0,30	0,20	0,09	0,00	0,00
	0,4	2,87	2,60	2,11	1,88	1,55	1,29	0,97	0,79	0,50	0,28	0,19	0,09	0,00	0,00
	0,5	2,64	2,38	1,91	1,72	1,42	1,20	0,89	0,72	0,46	0,25	0,18	0,08	0,00	0,00
	0,6	2,40	2,16	1,72	1,56	1,28	1,10	0,81	0,65	0,43	0,22	0,16	0,08	0,00	0,00
	0,7	2,13	1,96	1,53	1,36	1,12	0,97	0,72	0,56	0,38	0,19	0,14	0,07	0,00	0,00
	0,8	1,86	1,70	1,31	1,14	0,92	0,82	0,58	0,45	0,30	0,15	0,11	0,06	0,00	0,00
	0,9	1,34	1,26	0,98	0,82	0,66	0,59	0,41	0,31	0,20	0,10	0,08	0,04	0,00	0,00
	0,95	1,02	0,93	0,69	0,58	0,48	0,39	0,29	0,22	0,14	0,08	0,05	0,03	0,00	0,00
$n_x = n_y = 25; k = n_x + n_y - 2 = 48$															
0,0	0,7	9,08	8,40	6,71	6,00	4,96	4,12	3,12	2,53	1,60	0,93	0,62	0,31	0,13	0,03
	0,6	7,48	6,90	5,55	4,90	4,15	3,38	2,64	2,06	1,37	0,79	0,52	0,26	0,11	0,02
	0,5	6,21	5,84	4,66	4,18	3,47	2,88	2,20	1,78	1,17	0,68	0,45	0,21	0,10	0,00
	0,4	5,46	5,08	4,10	3,70	3,01	2,53	1,91	1,53	1,01	0,58	0,39	0,19	0,09	0,00
	0,3	4,80	4,48	3,67	3,28	2,68	2,23	1,69	1,40	0,91	0,51	0,35	0,17	0,08	0,00
	0,2	4,28	4,01	3,27	2,89	2,42	2,03	1,53	1,27	0,81	0,47	0,31	0,15	0,06	0,00
	0,1	3,89	3,61	2,96	2,63	2,20	1,84	1,40	1,16	0,74	0,44	0,28	0,13	0,04	0,00
	0,0	3,51	3,27	2,68	2,41	2,01	1,68	1,30	1,06	0,68	0,40	0,25	0,12	0,03	0,00
0,0	0,1	3,30	3,08	2,54	2,25	1,94	1,58	1,22	0,98	0,64	0,37	0,23	0,11	0,02	0,00
	0,2	3,09	2,88	2,38	2,11	1,80	1,49	1,13	0,92	0,59	0,34	0,22	0,10	0,01	0,00
	0,3	2,87	2,70	2,22	1,97	1,67	1,39	1,06	0,86	0,59	0,32	0,20	0,09	0,00	0,00
	0,4	2,66	2,49	2,06	1,83	1,53	1,29	0,98	0,80	0,52	0,29	0,19	0,09	0,00	0,00
	0,5	2,43	2,27	1,87	1,68	1,42	1,18	0,91	0,74	0,49	0,28	0,18	0,08	0,00	0,00
	0,6	2,18	2,04	1,68	1,52	1,28	1,06	0,83	0,67	0,44	0,25	0,17	0,07	0,00	0,00
	0,7	1,92	1,80	1,47	1,33	1,12	0,92	0,72	0,58	0,38	0,22	0,15	0,06	0,00	0,00
	0,8	1,64	1,52	1,22	1,10	0,91	0,74	0,59	0,47	0,31	0,18	0,12	0,05	0,00	0,00
	0,9	1,24	1,14	0,88	0,77	0,64	0,52	0,42	0,32	0,21	0,12	0,08	0,03	0,00	0,00
	0,95	0,88	0,80	0,62	0,55	0,44	0,37	0,29	0,23	0,15	0,08	0,05	0,02	0,00	0,00

R	r(1)	$\alpha, \%$													
		0,1	0,2	1	2	5	10	20	30	40	70	80	90	95	99
$n_x=n_y=50; k=n_x+n_y-2=98$															
0,0	0,7	7,96	7,48	6,22	5,68	4,78	4,01	3,11	2,53	1,60	0,93	0,62	0,31	0,13	0,03
	0,6	6,88	6,40	5,27	4,78	4,00	3,31	2,62	2,06	1,37	0,78	0,52	0,26	0,11	0,01
	0,5	5,90	5,51	4,52	4,07	3,36	2,82	2,19	1,78	1,17	0,68	0,45	0,21	0,10	0,00
	0,4	5,17	4,84	3,98	3,55	2,92	2,46	1,91	1,53	1,01	0,59	0,38	0,18	0,09	0,00
	0,3	4,60	4,35	3,50	3,10	2,59	2,18	1,69	1,39	0,91	0,51	0,34	0,16	0,08	0,00
	0,2	4,10	3,86	3,17	2,79	2,36	1,98	1,53	1,24	0,81	0,48	0,31	0,15	0,06	0,00
	0,1	3,72	3,48	2,88	2,55	2,16	1,81	1,40	1,13	0,74	0,44	0,29	0,14	0,05	0,00
	0,0	3,39	3,18	2,63	2,37	1,99	1,66	1,29	1,04	0,68	0,40	0,26	0,13	0,04	0,00
	0,1	3,06	2,86	2,39	2,21	2,21	1,84	1,57	0,96	0,63	0,38	0,24	0,12	0,02	0,00
0,0	0,2	2,80	2,62	2,20	2,08	1,72	1,46	1,12	0,90	0,59	0,35	0,23	0,11	0,01	0,00
	0,3	2,60	2,45	2,07	1,94	1,60	1,37	1,05	0,85	0,56	0,32	0,22	0,10	0,00	0,00
	0,4	2,44	2,29	1,92	1,81	1,49	1,28	0,98	0,79	0,52	0,30	0,21	0,09	0,00	0,00
	0,5	2,24	2,13	1,78	1,65	1,36	1,19	0,90	0,74	0,48	0,29	0,20	0,08	0,00	0,00
	0,6	2,05	1,95	1,62	1,47	1,23	1,03	0,81	0,66	0,44	0,27	0,18	0,07	0,00	0,00
	0,7	1,83	1,74	1,42	1,27	1,07	0,89	0,69	0,56	0,38	0,23	0,15	0,06	0,00	0,00
	0,8	1,58	1,49	1,19	1,04	0,88	0,72	0,56	0,45	0,30	0,18	0,12	0,05	0,00	0,00
	0,9	1,17	1,09	0,84	0,74	0,64	0,53	0,40	0,30	0,26	0,13	0,08	0,03	0,00	0,00
	0,95	0,81	0,77	0,59	0,52	0,44	0,37	0,29	0,22	0,14	0,08	0,05	0,02	0,00	0,00
$n_x=n_y=100; k=n_x+n_y-2=198$															
0,0	0,7	7,84	7,35	6,10	5,52	4,65	3,93	3,07	2,52	1,60	0,93	0,62	0,31	0,10	0,03
	0,6	6,74	6,27	5,21	4,71	3,99	3,26	2,60	2,05	1,37	0,79	0,53	0,25	0,10	0,02
	0,5	5,80	5,47	4,52	4,07	3,36	2,82	2,19	1,78	1,17	0,68	0,45	0,21	0,10	0,00
	0,4	5,08	4,76	3,98	3,55	2,92	2,46	1,91	1,51	1,01	0,58	0,39	0,19	0,08	0,00
	0,3	4,52	4,23	3,50	3,10	2,59	2,18	1,69	1,38	0,91	0,51	0,34	0,16	0,07	0,00
	0,2	4,02	3,79	3,17	2,79	2,36	1,98	1,53	1,27	0,81	0,46	0,31	0,15	0,05	0,00
	0,1	3,64	3,42	2,88	2,55	2,16	1,81	1,40	1,16	0,74	0,42	0,29	0,14	0,03	0,00
	0,0	3,34	3,13	2,60	2,35	1,98	1,65	1,29	1,06	0,68	0,38	0,27	0,12	0,01	0,00
	0,1	3,19	2,96	2,45	2,18	1,85	1,56	1,22	0,99	0,64	0,36	0,26	0,12	0,01	0,00
0,0	0,2	3,02	2,79	2,29	2,03	1,72	1,45	1,13	0,94	0,60	0,33	0,25	0,11	0,00	0,00
	0,3	2,85	2,56	2,08	1,96	1,57	1,34	1,06	0,86	0,56	0,31	0,24	0,11	0,00	0,00
	0,4	2,63	2,33	1,97	1,68	1,42	1,22	0,97	0,79	0,50	0,29	0,22	0,10	0,00	0,00
	0,5	2,40	2,09	1,70	1,53	1,26	1,10	0,89	0,72	0,46	0,27	0,20	0,09	0,00	0,00
	0,6	2,12	1,85	1,52	1,33	1,09	0,96	0,79	0,64	0,40	0,25	0,18	0,09	0,00	0,00
	0,7	1,84	1,58	1,31	1,15	0,92	0,83	0,68	0,55	0,35	0,22	0,16	0,08	0,00	0,00
	0,8	1,55	1,36	1,09	0,98	0,74	0,67	0,57	0,45	0,29	0,18	0,12	0,06	0,00	0,00
	0,9	1,09	0,97	0,78	0,70	0,54	0,48	0,39	0,31	0,20	0,12	0,08	0,03	0,00	0,00

Таблица 16

**Распределение Стьюдента для случайных величин при
числе степеней свободы $k=n_x+n_y-2$ и уровне значимости α**

k	α (%)		
	1	5	10
15	2,947	2,131	1,753
16	2,921	2,120	1,746
17	2,898	2,110	1,740
18	2,878	2,101	1,734
19	2,861	2,093	1,729
20	2,845	2,086	1,725
21	2,831	2,080	1,721
22	2,819	2,074	1,717
23	2,807	2,069	1,714
24	2,797	2,064	1,711
25	2,787	2,060	1,708
26	2,779	2,056	1,706
27	2,771	2,052	1,703
28	2,763	2,048	1,701
29	2,756	2,045	1,699
30	2,750	2,042	1,697
35	2,724	2,030	1,690
40	2,704	2,021	1,684
45	2,690	2,014	1,679
50	2,678	2,009	1,676
60	2,660	2,000	1,671
70	2,648	1,994	1,667
80	2,639	1,990	1,664
90	2,632	1,987	1,662
100	2,626	1,984	1,660
120	2,617	1,980	1,658
200	2,601	1,972	1,653
500	2,586	1,965	1,648

Таблица 17
**Нормированные отклонения от среднего значения ординат
распределения Пирсона III типа ($\Phi(P, C_s) = (Y_p - Y_{cp})/\sigma$)**

C_s	$P, \%$									
	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40
-4,0	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,46
-3,8	0,527	0,527	0,526	0,526	0,526	0,526	0,52	0,52	0,51	0,48
-3,6	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,555	0,55	0,54	0,54	0,49
-3,4	0,588	0,588	0,588	0,588	0,587	0,586	0,58	0,57	0,55	0,50
-3,2	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,621	0,61	0,59	0,57	0,51
-3,0	0,667	0,667	0,666	0,666	0,665	0,661	0,64	0,62	0,59	0,51
-2,8	0,715	0,715	0,715	0,714	0,711	0,703	0,67	0,64	0,60	0,51
-2,6	0,77	0,77	0,77	0,766	0,764	0,746	0,70	0,66	0,61	0,51
-2,4	0,835	0,833	0,83	0,826	0,82	0,792	0,72	0,67	0,62	0,51
-2,2	0,914	0,91	0,905	0,895	0,882	0,842	0,75	0,69	0,64	0,50
-2,0	1,01	1,00	0,99	0,97	0,95	0,90	0,78	0,71	0,64	0,49
-1,8	1,11	1,11	1,09	1,06	1,02	0,94	0,80	0,72	0,64	0,48
-1,6	1,26	1,24	1,20	1,14	1,10	0,99	0,81	0,73	0,64	0,46
-1,4	1,41	1,39	1,32	1,23	1,17	1,04	0,83	0,73	0,64	0,44
-1,2	1,68	1,58	1,45	1,33	1,24	1,08	0,84	0,74	0,63	0,42
-1,0	1,92	1,79	1,59	1,42	1,32	1,13	0,85	0,73	0,62	0,39
-0,8	2,23	2,02	1,74	1,52	1,38	1,17	0,86	0,73	0,60	0,37
-0,6	2,57	2,27	1,88	1,61	1,45	1,20	0,85	0,72	0,59	0,34
-0,4	2,98	2,54	2,03	1,70	1,52	1,23	0,85	0,71	0,57	0,31
-0,2	3,37	2,81	2,18	1,79	1,58	1,26	0,85	0,69	0,55	0,28
0,0	3,72	3,09	2,33	1,88	1,64	1,28	0,84	0,67	0,52	0,25
0,2	4,16	3,38	2,47	1,96	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22
0,4	4,61	3,66	2,61	2,04	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19
0,6	5,05	3,96	2,75	2,12	1,80	1,33	0,80	0,61	0,44	0,16
0,8	5,50	4,24	2,89	2,18	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12
1,0	5,96	4,53	3,02	2,25	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09
1,2	6,41	4,81	3,15	2,31	1,92	1,34	0,73	0,52	0,35	0,05
1,4	6,87	5,09	3,27	2,37	1,95	1,34	0,71	0,49	0,31	0,02
1,6	7,31	5,37	3,39	2,42	1,97	1,33	0,68	0,46	0,28	-0,02
1,8	7,76	5,64	3,50	2,46	1,99	1,32	0,64	0,42	0,24	-0,05
2,0	8,21	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	-0,08
2,2	8,63	6,14	3,68	2,54	2,02	1,27	0,57	0,35	0,16	-0,12
2,4	9,00	6,37	3,78	2,60	2,00	1,25	0,52	0,29	0,12	-0,14
2,6	9,39	6,54	3,86	2,63	2,00	1,21	0,48	0,25	0,085	-0,17
2,8	9,77	6,86	3,96	2,65	2,00	1,18	0,44	0,22	0,057	-0,20

C_s	$P, \%$									
	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40
3,0	10,16	7,10	4,05	2,66	1,97	1,13	0,39	0,19	0,027	-0,22
3,2	10,55	7,35	4,11	2,66	1,96	1,09	0,35	0,15	-0,006	-0,25
3,4	10,9	7,54	4,18	2,66	1,94	1,06	0,31	0,11	-0,036	-0,27
3,6	11,3	7,72	4,24	2,66	1,93	1,03	0,28	0,064	-0,072	-0,28
3,8	11,67	7,97	4,29	2,65	1,90	1,00	0,24	0,032	-0,095	-0,30
4,0	12,02	8,17	4,34	2,65	1,90	0,96	0,21	0,01	-0,12	-0,31
4,2	12,4	8,38	4,39	2,64	1,88	0,93	0,19	-0,01	-0,13	-0,31
4,4	12,76	8,60	4,42	2,63	1,86	0,91	0,15	-0,032	-0,15	-0,32
4,6	13,12	8,79	4,46	2,62	1,84	0,87	0,13	-0,052	-0,17	-0,32
4,8	13,51	8,96	4,50	2,60	1,81	0,82	0,10	-0,075	-0,19	-0,32
5,0	13,87	9,12	4,54	2,60	1,78	0,78	0,068	-0,099	-0,20	-0,33
5,2	14,25	9,27	4,59	2,60	1,74	0,73	0,035	-0,12	-0,21	-0,30
5,4	14,6	9,42	4,62	2,60	1,70	0,67	0,02	-0,10	-0,21	-0,30
5,6	14,95	9,59	4,65	2,60	1,67	0,62	0,00	-0,12	-0,21	-0,30
5,8	15,32	9,70	4,70	2,60	1,64	0,57	-0,02	-0,14	-0,21	-0,30
6,0	15,67	9,84	4,70	2,60	1,60	0,51	-0,05	-0,15	-0,21	-0,30
6,2	16,04	9,95	4,71	2,60	1,56	0,47	-0,05	-0,15	-0,21	-0,30
6,4	16,4	10,05	4,71	2,60	1,52	0,42	-0,05	-0,15	-0,21	-0,30

Таблица 17 (продолжение)

C_s	$P, \%$									
	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
-4,0	0,41	0,31	-0,12	-0,01	-0,21	-0,96	-1,9	-2,65	-4,34	-8,17
-3,8	0,42	0,30	-0,095	-0,032	-0,24	-1	-1,9	-2,65	-4,29	-7,97
-3,6	0,42	0,28	-0,072	-0,064	-0,28	-1,03	-1,93	-2,66	-4,24	-7,72
-3,4	0,41	0,27	-0,036	-0,11	-0,31	-1,06	-1,94	-2,66	-4,18	-7,54
-3,2	0,41	0,25	-0,006	-0,15	-0,35	-1,09	-1,96	-2,66	-4,11	-7,35
-3,0	0,40	0,22	-0,027	-0,19	-0,39	-1,13	-1,97	-2,66	-4,05	-7,1
-2,8	0,39	0,2	-0,057	-0,22	-0,44	-1,18	-2	-2,65	-3,86	-6,86
-2,6	0,37	0,17	-0,085	-0,25	-0,48	-1,21	-2	-2,63	-3,86	-6,54
-2,4	0,35	0,17	-0,12	-0,29	-0,52	-1,25	-2	-2,6	-3,78	-6,37
-2,2	0,33	0,12	-0,16	-0,35	-0,57	-1,27	-2,02	-2,54	-3,68	-6,14
-2,0	0,31	0,09	-0,2	-0,39	-0,61	-1,3	-2	-2,51	-3,6	-5,91
-1,8	0,28	0,05	-0,24	-0,42	-0,64	-1,32	-1,99	-2,46	-3,5	-5,64
-1,6	0,25	0,02	-0,28	-0,46	-0,68	-1,33	-1,97	-2,42	-3,39	-5,37
-1,4	0,22	-0,20	-0,31	-0,49	-0,71	-1,34	-1,95	-2,37	-3,27	-5,09
-1,2	0,19	-0,05	-0,35	-0,52	-0,73	-1,34	1,92	-2,31	-3,15	-4,81
-1,0	0,16	-0,09	-0,38	-0,55	-0,76	-1,34	-1,88	-2,25	-3,02	-4,53

C_s	$P, \%$									
	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
-0,8	0,13	-0,12	-0,41	-0,58	-0,79	-1,34	-1,84	-2,18	-2,89	-4,24
-0,6	0,10	-0,16	-0,44	-0,61	-0,8	-1,33	-1,8	-2,12	-2,75	-3,96
-0,4	0,07	-0,19	-0,47	-0,63	-0,82	-1,32	-1,75	-2,04	-2,61	-0,366
-0,2	0,03	-0,22	-0,5	-0,65	-0,83	-1,3	-1,7	-1,96	-2,47	-3,38
0,0	0,00	-0,25	-0,52	-0,67	-0,84	-1,28	-1,64	-1,88	-2,33	-3,09
0,2	-0,03	-0,28	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18	-2,81
0,4	-0,07	-0,31	-0,57	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-1,7	-2,03	-2,54
0,6	-0,10	-0,34	-0,59	-0,72	-0,85	-1,2	-1,45	-1,61	-1,88	-2,27
0,8	-0,13	-0,37	-0,6	-0,73	-0,86	-1,17	-1,38	-1,52	-1,74	-2,02
1,0	-0,16	-0,39	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,42	-1,59	-1,79
1,2	-0,19	-0,42	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,33	-1,45	-1,58
1,4	-0,22	-0,44	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,23	-1,32	-1,39
1,6	-0,25	-0,46	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,1	-1,14	-1,2	-1,24
1,8	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,8	-0,94	-1,02	-1,06	-1,09	-1,11
2,0	-0,31	-0,49	-0,64	-0,71	-0,78	-0,9	-0,95	-0,97	-0,99	-1
2,2	-0,33	-0,50	-0,64	-0,69	-0,75	-0,842	-0,882	-0,895	-0,905	-0,91
2,4	-0,35	-0,51	-0,62	-0,67	-0,72	-0,792	-0,82	-0,826	-0,83	-0,833
2,6	-0,37	-0,51	-0,61	-0,66	-0,7	-0,746	-0,764	-0,766	-0,77	-0,77
2,8	-0,39	-0,51	-0,6	-0,64	-0,67	-0,703	-0,711	-0,714	-0,715	-0,715
3,0	-0,40	-0,51	-0,59	-0,62	-0,64	-0,661	-0,665	-0,666	-0,666	-0,667
3,2	-0,41	-0,51	-0,57	-0,59	-0,61	-0,621	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625
3,4	-0,41	-0,50	-0,55	-0,57	-0,58	-0,586	-0,587	-0,588	-0,588	-0,588
3,6	-0,42	-0,49	-0,54	-0,54	-0,55	-0,555	-0,556	-0,556	-0,556	-0,556
3,8	-0,42	-0,48	-0,51	-0,52	-0,52	-0,526	-0,526	-0,526	-0,526	-0,527
4,0	-0,41	-0,46	-0,49	-0,49	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
4,2	-0,41	-0,45	-0,47	-0,473	-0,475	-0,476	-0,476	-0,476	-0,477	-0,477
4,4	-0,40	-0,44	-0,451	-0,454	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455
4,6	-0,40	-0,42	-0,432	-0,454	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435	-0,435
4,8	-0,39	-0,41	-0,416	-0,416	-0,416	-0,416	-0,416	-0,416	-0,417	-0,417
5,0	-0,38	-0,40	-0,399	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
5,2	-0,37	-0,38	-0,384	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385	-0,385
5,4	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37
5,6	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
5,8	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35	-0,35
6,0	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34
6,2	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34
6,4	-0,33	-0,39	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33	-0,33

Таблица 18

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
 $(\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp})$

P, %	C_v											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	$C_s = 0,0$					$C_s = 0,5$						
0,001	1,41	1,81	2,15	2,38	2,42	1,42	1,87	2,29	2,66	2,94	3,08	3,00
0,01	1,37	1,72	2,03	2,25	2,33	1,38	1,76	2,13	2,47	2,74	2,91	2,89
0,03	1,34	1,67	1,96	2,18	2,27	1,35	1,71	2,05	2,37	2,64	2,81	2,83
0,05	1,33	1,64	1,93	2,15	2,24	1,34	1,68	2,01	2,32	2,58	2,76	2,79
0,1	1,31	1,6	1,88	2,09	2,2	1,31	1,63	1,95	2,25	2,5	2,69	2,74
0,3	1,27	1,54	1,79	2	2,12	1,28	1,56	1,85	2,12	2,36	2,55	2,64
0,5	1,26	1,51	1,74	1,95	2,08	1,26	1,53	1,79	2,05	2,28	2,48	2,59
1	1,23	1,46	1,68	1,87	2,01	1,24	1,48	1,72	1,95	2,17	2,37	2,5
3	1,19	1,37	1,56	1,73	1,88	1,19	1,38	1,58	1,78	1,97	2,16	2,33
5	1,16	1,33	1,49	1,65	1,8	1,17	1,33	1,51	1,68	1,86	2,03	2,22
10	1,13	1,26	1,39	1,52	1,66	1,13	1,26	1,39	1,53	1,67	1,83	2,01
20	1,08	1,17	1,26	1,36	1,47	1,08	1,17	1,25	1,35	1,44	1,56	1,7
25	1,07	1,14	1,21	1,29	1,39	1,07	1,13	1,2	1,27	1,35	1,45	1,56
30	1,05	1,11	1,16	1,23	1,31	1,05	1,1	1,16	1,21	1,27	1,34	1,42
40	1,03	1,05	1,08	1,12	1,16	1,02	1,05	1,07	1,1	1,12	1,15	1,16
50	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	0,999	0,997	0,993	0,988	0,98	0,962	0,92
60	0,975	0,949	0,923	0,895	0,855	0,974	0,946	0,915	0,881	0,839	0,78	0,69
70	0,947	0,894	0,838	0,775	0,69	0,947	0,882	0,834	0,769	0,693	0,596	0,476
75	0,932	0,864	0,792	0,709	0,603	0,932	0,862	0,789	0,709	0,615	0,503	0,376
80	0,916	0,83	0,74	0,637	0,511	0,915	0,829	0,74	0,643	0,533	0,409	0,282
90	0,872	0,742	0,606	0,459	0,305	0,872	0,744	0,615	0,48	0,343	0,215	0,115
95	0,835	0,67	0,501	0,331	0,182	0,837	0,676	0,517	0,362	0,221	0,113	0,047
97	0,812	0,624	0,436	0,261	0,125	0,814	0,633	0,458	0,295	0,16	0,07	0,024
99	0,768	0,54	0,326	0,156	0,055	0,772	0,554	0,354	0,189	0,08	0,025	0,006
99,5	0,743	0,494	0,271	0,112	0,033	0,748	0,511	0,302	0,144	0,051	0,013	0,002
99,7	0,726	0,464	0,237	0,088	0,023	0,732	0,482	0,269	0,117	0,037	0,008	0,001
99,9	0,693	0,405	0,178	0,053	0,01	0,7	0,428	0,21	0,076	0,019	0,003	0

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$C_s = C_v$										
0,001	1	1,46	1,94	2,46	2,97	3,47	3,94	4,36	4,73	5,06	5,35
0,01	1	1,38	1,81	2,26	2,7	3,15	3,57	3,95	4,31	4,64	4,92
0,03	1	1,35	1,74	2,15	2,56	2,97	3,37	3,74	4,09	4,41	4,69
0,05	1	1,34	1,71	2,1	2,49	2,89	3,27	3,64	3,98	4,29	4,58
0,1	1	1,32	1,67	2,03	2,4	2,77	3,13	3,48	3,82	4,13	4,42
0,3	1	1,28	1,59	1,91	2,23	2,56	2,89	3,21	3,53	3,84	4,14
0,5	1	1,27	1,55	1,84	2,15	2,46	2,77	3,08	3,38	3,69	3,99
1	1	1,24	1,49	1,76	2,03	2,3	2,59	2,88	3,16	3,46	3,75
3	1	1,19	1,39	1,6	1,82	2,04	2,27	2,5	2,75	3,01	3,29
5	1	1,17	1,34	1,52	1,7	1,9	2,1	2,3	2,53	2,76	3,02
10	1	1,13	1,26	1,4	1,54	1,68	1,83	1,99	2,16	2,35	2,55
20	1	1,08	1,17	1,25	1,34	1,42	1,51	1,6	1,7	1,8	1,9
25	1	1,07	1,13	1,2	1,26	1,33	1,39	1,46	1,52	1,59	1,64
30	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,24	1,29	1,33	1,37	1,39	1,4
40	1	1,02	1,04	1,06	1,08	1,09	1,1	1,1	1,08	1,05	0,995
50	1	0,998	0,993	0,985	0,972	0,954	0,928	0,891	0,836	0,76	0,665
60	1	0,973	0,943	0,909	0,87	0,824	0,768	0,698	0,613	0,512	0,406
70	1	0,946	0,89	0,83	0,764	0,692	0,609	0,515	0,413	0,309	0,215
75	1	0,932	0,861	0,787	0,708	0,622	0,528	0,426	0,321	0,224	0,144
80	1	0,915	0,829	0,74	0,648	0,549	0,445	0,338	0,237	0,151	0,088
90	1	0,873	0,748	0,623	0,5	0,378	0,264	0,165	0,092	0,045	0,019
95	1	0,838	0,683	0,533	0,392	0,263	0,157	0,081	0,036	0,013	0,004
97	1	0,816	0,642	0,478	0,329	0,202	0,107	0,048	0,018	0,005	0,001
99	1	0,775	0,568	0,383	0,229	0,115	0,047	0,015	0,004	0,001	0,1
99,5	1	0,752	0,528	0,335	0,182	0,081	0,028	0,008	0,002	0,2	0,3
99,7	1	0,737	0,502	0,303	0,154	0,062	0,019	0,004	0,001	0,9	0,1
99,9	1	0,707	0,451	0,247	0,108	0,036	0,008	0,001	2 10-3	0,1	0,2

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P , %	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	$C_s = C_v$									
0,001	5,58	5,76	5,9	6,02	6,12	6,2	6,26	6,32	6,36	6,4
0,01	5,16	5,34	5,46	5,58	5,68	5,76	5,82	5,88	5,92	5,96
0,03	4,94	5,16	5,29	5,42	5,51	5,58	5,65	5,7	5,74	5,78
0,05	4,83	5,06	5,2	5,32	5,42	5,49	5,56	5,62	5,67	5,72
0,1	4,69	4,92	5,06	5,18	5,29	5,37	5,44	5,49	5,54	5,58
0,3	4,44	4,74	4,92	5,06	5,16	5,24	5,31	5,36	5,42	5,46
0,5	4,29	4,58	4,75	4,91	5,02	5,11	5,18	5,24	5,28	5,32
1	4,06	4,36	4,55	4,72	4,84	4,94	5	5,07	5,12	5,16
3	3,59	3,92	4,14	4,33	4,46	4,58	4,68	4,76	4,84	4,92
5	3,31	3,63	3,84	4,02	4,16	4,28	4,4	4,5	4,6	4,69
10	2,78	3,03	3,26	3,46	3,64	2,56	3,94	4,05	4,15	4,25
20	2	2,1	2,2	2,32	2,44	1,66	2,67	2,8	2,92	3,03
25	1,68	1,69	1,7	1,7	1,68	0,96	1,61	1,56	1,51	1,46
30	1,39	1,34	1,26	1,17	1,07	0,38	0,84	0,72	0,6	0,45
40	0,916	0,808	0,72	0,6	0,5	0,15	0,28	0,2	0,11	0,04
50	0,559	0,446	0,34	0,26	0,2	0,075	0,105	0,07	0,04	0,01
60	0,306	0,216	0,19	0,13	0,1	0,025	0,055	0,035	0,015	0
70	0,141	0,085	0,06	0,045	0,035	0,005	0,015	0,01	0	0
75	0,086	0,046	0,025	0,02	0,01	0	0	0	0	0
80	0,047	0,023	0,015	0,005	0	0	0	0	0	0
90	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0,001	$3 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0,0003	$6 \cdot 10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99,5	$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99,7	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99,9	$1 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-9}$	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$C_s = 1,5 C_v$							
0,001	1,47	2,01	2,63	3,3	4,03	4,81	5,64
0,01	1,4	1,86	2,38	2,94	3,55	4,19	4,88
0,03	1,37	1,79	2,26	2,76	3,3	3,88	4,5
0,05	1,32	1,75	2,2	2,68	3,18	3,73	4,31
0,1	1,33	1,7	2,11	2,54	3,02	3,52	4,06
0,3	1,29	1,61	1,97	2,34	2,74	3,17	3,62
0,5	1,27	1,57	1,9	2,24	2,61	3	3,41
1	1,24	1,51	1,79	2,09	2,42	2,76	3,11
3	1,19	1,4	1,62	1,85	2,09	2,34	2,6
5	1,17	1,35	1,53	1,72	1,92	2,13	2,34
10	1,13	1,26	1,4	1,54	1,68	1,82	1,97
20	1,08	1,16	1,25	1,32	1,4	1,47	1,54
25	1,07	1,13	1,19	1,25	1,3	1,35	1,39
30	1,05	1,1	1,14	1,18	1,21	1,24	1,27
40	1,02	1,04	1,06	1,06	1,06	1,06	1,05
50	0,998	0,99	0,977	0,958	0,934	0,902	0,862
60	0,972	0,94	0,903	0,86	0,812	0,757	0,695
70	0,946	0,888	0,826	0,76	0,69	0,616	0,538
75	0,931	0,86	0,785	0,708	0,63	0,545	0,46
80	0,915	0,829	0,741	0,652	0,562	0,472	0,384
90	0,874	0,751	0,632	0,518	0,409	0,31	0,222
95	0,84	0,689	0,548	0,419	0,305	0,207	0,13
97	0,819	0,651	0,498	0,363	0,247	0,155	0,088
99	0,78	0,581	0,41	0,268	0,16	0,084	0,038
99,5	0,758	0,545	0,366	0,223	0,122	0,057	0,023
99,7	0,744	0,52	0,337	0,205	0,108	0,043	0,016
99,9	0,714	0,474	0,284	0,152	0,066	0,024	0,007

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v							
	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	$C_s = 1,5 C_v$							
0,001	6,5	7,41	8,39	9,41	10,4	11,5	12,7	13,9
0,01	5,61	6,38	7,19	8,03	8,92	9,83	10,8	11,8
0,03	5,14	5,82	6,56	7,33	8,13	8,96	9,8	10,7
0,05	4,93	5,58	6,26	6,95	7,67	8,43	9,22	10,1
0,1	4,62	5,22	5,84	6,5	7,18	7,88	8,61	9,38
0,3	4,1	4,61	5,14	5,72	6,32	6,95	7,6	8,25
0,5	3,85	4,31	4,8	5,32	5,87	6,44	7,04	7,66
1	3,49	3,89	4,3	4,74	5,21	5,7	6,24	6,78
3	2,88	3,16	3,46	3,78	4,12	4,48	4,86	5,27
5	2,57	2,8	3,03	3,28	3,55	3,83	4,12	4,44
10	2,11	2,26	2,41	2,56	2,71	2,86	3	3,13
20	1,61	1,67	1,72	1,76	1,8	1,82	1,83	1,83
25	1,43	1,46	1,48	1,49	1,49	1,48	1,46	1,43
30	1,28	1,28	1,28	1,26	1,24	1,2	1,16	1,1
40	1,03	0,994	0,952	0,901	0,84	0,766	0,692	0,622
50	0,814	0,756	0,69	0,618	0,541	0,463	0,388	0,32
60	0,627	0,553	0,475	0,398	0,324	0,253	0,193	0,142
70	0,457	0,376	0,298	0,228	0,168	0,118	0,079	0,051
75	0,377	0,297	0,223	0,161	0,111	0,072	0,045	0,027
80	0,299	0,223	0,156	0,15	0,067	0,039	0,022	0,012
90	0,148	0,092	0,053	0,028	0,014	0,006	0,003	0,001
95	0,074	0,038	0,018	0,008	0,003	0,001	$0,3 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
97	0,045	0,02	0,008	0,003	0,001	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$
99	0,015	0,005	0,001	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$
99,5	0,008	0,002	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$
99,7	0,005	0,001	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
99,9	0,001	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-7}$	$0,2 \cdot 10^{-8}$

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$C_s = 2,0 C_v$										
0,001	1	1,49	2,09	2,82	3,68	4,67	5,78	7,03	8,4	9,89	11,5
0,01	1	1,42	1,92	2,52	3,2	3,98	4,85	5,81	6,85	7,98	9,21
0,03	1	1,38	1,83	2,36	2,96	3,64	4,39	5,22	6,11	7,08	8,11
0,05	1	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,77	6,66	7,6
0,1	1	1,34	1,73	2,19	2,7	3,27	3,87	4,56	5,3	6,08	6,91
0,3	1	1,3	1,64	2,02	2,45	2,91	3,42	3,96	4,55	5,16	5,81
0,5	1	1,28	1,59	1,94	2,32	2,74	3,2	3,68	4,19	4,74	5,3
1	1	1,25	1,52	1,82	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,6
3	1	1,2	1,41	1,64	1,87	2,13	2,39	2,66	2,94	3,21	3,51
5	1	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3
10	1	1,13	1,26	1,4	1,54	1,67	1,8	1,94	2,06	2,19	2,3
20	1	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,5	1,54	1,58	1,61
25	1	1,06	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39
30	1	1,05	1,09	1,13	1,16	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,2
40	1	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,984	0,955	0,916
50	1	0,997	0,986	0,97	0,948	0,918	0,886	0,846	0,8	0,748	0,693
60	1	0,972	0,938	0,898	0,852	0,803	0,748	0,692	0,632	0,568	0,511
70	1	0,945	0,886	0,823	0,76	0,691	0,622	0,552	0,488	0,424	0,357
75	1	0,931	0,858	0,784	0,708	0,634	0,556	0,489	0,416	0,352	0,288
80	1	0,915	0,83	0,745	0,656	0,574	0,496	0,419	0,352	0,28	0,223
90	1	0,873	0,754	0,64	0,532	0,436	0,352	0,272	0,208	0,154	0,15
95	1	0,842	0,696	0,565	0,448	0,342	0,256	0,181	0,12	0,082	0,051
97	1	0,821	0,66	0,517	0,392	0,288	0,202	0,139	0,088	0,046	0,03
99	1	0,782	0,594	0,436	0,304	0,206	0,13	0,076	0,04	0,019	0,01
99,5	1	0,761	0,56	0,394	0,269	0,166	0,099	0,054	0,027	0,012	0,005
99,7	1	0,748	0,537	0,374	0,24	0,144	0,082	0,042	0,019	0,008	0,003
99,9	1	0,719	0,492	0,319	0,192	0,107	0,052	0,027	0,008	0,004	0,001

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	$C_s = 2,0 C_v$									
0,001	13,2	15,1	17,2	19,3	21,6	23,9	26,2	28,6	31,3	34,4
0,01	10,5	11,8	13,2	14,7	16,4	18,2	20,2	22,2	24,4	26,6
0,03	9,2	10,3	11,6	12,9	14,3	15,6	17	18,5	20	21,4
0,05	8,61	9,65	10,8	11,9	13,1	14,2	15,5	16,7	18	19,4
0,1	7,75	8,65	9,6	10,6	11,6	12,5	13,5	14,6	15,8	17
0,3	6,47	7,1	7,98	8,7	9,5	10,5	11	11,9	12,7	13,6
0,5	5,9	6,5	7,13	7,8	8,42	9	9,5	10,1	10,8	11,4
1	5,05	5,53	6,02	6,55	7,08	7,5	8	8,6	9,2	9,8
3	3,8	4,12	4,42	4,71	4,98	5,2	5,5	5,8	6,2	6,5
5	3,22	3,4	3,6	3,8	3,96	4	4,3	4,5	4,7	5
10	2,4	2,5	2,57	2,64	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6
20	1,62	1,63	1,62	1,61	1,59	1,6	1,6	1,56	1,5	2,5
25	1,39	1,35	1,33	1,31	1,28	1,26	1,24	1,22	1,2	1,18
30	1,18	1,14	1,11	1,08	1,04	1,015	0,98	0,95	0,92	0,89
40	0,87	0,83	0,77	0,725	0,67	0,625	0,58	0,53	0,48	0,44
50	0,64	0,58	0,52	0,46	0,405	0,355	0,31	0,265	0,23	0,2
60	0,45	0,39	0,334	0,283	0,234	0,19	0,16	0,13	0,105	0,085
70	0,3	0,25	0,203	0,155	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05	0,045
75	0,241	0,193	0,146	0,106	0,077	0,06	0,05	0,04	0,03	0,025
80	0,175	0,13	0,094	0,065	0,046	0,035	0,027	0,02	0,015	0,01
90	0,074	0,049	0,03	0,016	0,009	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
95	0,03	0,016	0,009	0,004	0,002	0,001	0,0002	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
97	0,016	0,008	0,004	0,002	0,001	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$
99	0,005	0,002	0,001	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
99,5	0,002	0,001	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0	0	0
99,7	0,001	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0
99,9		$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$C_s = 2,5 C_v$										
0,001	1,52	2,18	3,05	4,13	5,41	6,90	8,61	10,50	12,60	14,80	1,52
0,01	1,44	1,98	2,67	3,49	4,45	5,54	6,76	8,10	9,55	11,10	1,44
0,03	1,40	1,88	2,48	3,18	4,00	4,91	5,93	7,02	8,20	9,46	1,40
0,05	1,38	1,83	2,39	3,04	3,79	4,62	5,54	6,53	7,59	8,72	1,38
0,1	1,35	1,77	2,27	2,85	3,51	4,24	5,04	5,90	6,80	7,76	1,35
0,3	1,30	1,66	2,08	2,55	3,07	3,64	4,26	4,91	5,58	6,28	1,30
0,5	1,28	1,61	1,99	2,41	2,87	3,36	3,90	4,46	5,03	5,63	1,28
1	1,25	1,54	1,86	2,21	2,59	3,00	3,42	3,87	4,32	4,78	1,25
3	1,20	1,42	1,65	1,9	2,15	2,42	2,69	2,96	3,23	3,50	1,20
5	1,17	1,35	1,55	1,74	1,95	2,15	2,35	2,55	2,75	2,94	1,17
10	1,13	1,26	1,40	1,53	1,66	1,78	1,90	2,01	2,12	2,22	1,13
20	1,08	1,16	1,23	1,30	1,36	1,14	1,45	1,49	1,52	1,54	1,08
25	1,07	1,12	1,18	1,22	1,26	1,28	1,31	1,32	1,33	1,33	1,07
30	1,05	1,09	1,13	1,15	1,17	1,18	1,18	1,18	1,17	1,16	1,05
40	1,02	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	0,989	0,962	0,93	0,895	1,02
50	0,997	0,984	0,964	0,938	0,906	0,87	0,83	0,787	0,742	0,695	0,997
60	0,972	0,935	0,893	0,847	0,797	0,745	0,692	0,639	0,586	0,533	0,972
70	0,945	0,885	0,822	0,758	0,693	0,629	0,567	0,506	0,449	0,395	0,945
75	0,931	0,858	0,785	0,712	0,64	0,571	0,505	0,443	0,385	0,332	0,931
80	0,915	0,83	0,745	0,663	0,585	0,512	0,444	0,381	0,324	0,272	0,915
90	0,875	0,757	0,648	0,549	0,459	0,381	0,31	0,25	0,198	0,155	0,875
95	0,843	0,702	0,576	0,467	0,373	0,293	0,227	0,172	0,128	0,093	0,843
97	0,823	0,667	0,533	0,42	0,325	0,247	0,184	0,134	0,095	0,065	0,823
99	0,784	0,606	0,459	0,341	0,248	0,175	0,12	0,08	0,052	0,032	0,784
99,5	0,765	0,574	0,422	0,303	0,212	0,143	0,094	0,059	0,036	0,02	0,765
99,7	0,752	0,558	0,398	0,278	0,189	0,123	0,078	0,047	0,028	0,015	0,752
99,9	0,727	0,513	0,353	0,235	0,151	0,093	0,055	0,03	0,016	0,008	0,727

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	$C_s = 2,5 C_v$									
0,001	17,2	19,9	22,6	25,6	28,7	32,1	35,8	39,7	43,9	48,4
0,01	12,8	14,6	16,4	18,4	20,4	22,5	24,7	27	29,3	31,9
0,03	10,8	12,2	13,7	15,2	16,8	18,5	20,2	22,1	24	26
0,05	9,92	11,2	12,5	13,8	15,2	16,7	18,2	19,8	21,5	23,2
0,1	8,76	9,81	10,9	12	13,2	14,4	15,7	17	18,4	19,8
0,3	7,02	7,78	8,56	9,36	10,2	11,1	12	13	14,1	15,2
0,5	6,25	6,89	7,54	8,2	8,88	9,56	10,3	11	11,8	12,6
1	5,26	5,73	6,22	6,71	7,2	7,7	8,2	8,71	9,22	9,74
3	3,77	4,04	4,3	4,56	4,81	5,06	5,3	5,54	5,78	6,01
5	3,13	3,31	3,48	3,65	3,81	3,96	4,1	4,26	4,39	4,52
10	2,31	2,39	2,46	2,53	2,59	2,64	2,69	2,73	2,76	2,79
20	1,55	1,56	1,56	1,55	1,54	1,52	1,5	1,47	1,44	1,41
25	1,32	1,31	1,29	1,27	1,24	1,21	1,17	1,14	1,1	1,05
30	1,14	1,11	1,08	1,05	1,01	0,972	0,931	0,888	0,843	0,797
40	0,857	0,816	0,773	0,729	0,684	0,638	0,592	0,545	0,497	0,447
50	0,648	0,6	0,552	0,505	0,459	0,415	0,373	0,332	0,295	0,259
60	0,482	0,432	0,385	0,34	0,298	0,259	0,224	0,191	0,162	0,136
70	0,344	0,297	0,254	0,215	0,18	0,149	0,122	0,099	0,079	0,062
75	0,283	0,238	0,199	0,164	0,133	0,107	0,085	0,066	0,051	0,039
80	0,226	0,185	0,149	0,119	0,094	0,072	0,055	0,041	0,03	0,022
90	0,118	0,089	0,066	0,047	0,033	0,023	0,015	0,01	0,006	0,004
95	0,066	0,046	0,03	0,02	0,012	0,008	0,004	0,002	0,001	0,001
97	0,044	0,028	0,018	0,011	0,006	0,003	0,002	0,001	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
99	0,019	0,011	0,006	0,003	0,001	0,001	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
99,5	0,011	0,006	0,003	0,001	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$
99,7	0,008	0,004	0,002	$0,7 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$
99,9	0,004	0,001	0,001	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-5}$	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$0,9 \cdot 10^{-7}$

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$C_s = 3,0 C_v$										
0,001	1	1,54	2,29	3,32	4,63	6,24	8,14	10,3	12,7	15,4	18,2
0,01	1	1,46	2,05	2,83	3,8	4,94	6,26	7,7	9,3	11	12,8
0,03	1	1,41	1,93	2,59	3,42	4,35	5,39	6,58	7,85	9,19	10,6
0,05	1	1,39	1,88	2,49	3,24	4,09	5,04	6,08	7,21	8,4	9,65
0,1	1	1,36	1,81	2,35	3,01	3,74	4,56	5,44	6,38	7,37	8,41
0,3	1	1,31	1,69	2,12	2,65	3,21	3,82	4,48	5,17	5,88	6,61
0,5	1	1,28	1,63	2,03	2,48	2,97	3,5	4,06	4,64	5,24	5,84
1	1	1,25	1,55	1,9	2,26	2,66	3,07	3,5	3,96	4,41	4,87
3	1	1,2	1,42	1,66	1,91	2,17	2,43	2,69	2,95	3,21	3,47
5	1	1,17	1,36	1,55	1,75	1,95	2,14	2,34	2,52	2,7	2,88
10	1	1,13	1,26	1,4	1,52	1,65	1,76	1,87	1,97	2,06	2,15
20	1	1,08	1,16	1,23	1,29	1,34	1,38	1,42	1,45	1,47	1,49
25	1	1,07	1,12	1,17	1,21	1,24	1,26	1,28	1,28	1,29	1,29
30	1	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,16	1,16	1,15	1,14	1,13
40	1	1,02	1,03	1,03	1,03	1,01	0,995	0,972	0,946	0,915	0,883
50	1	0,997	0,981	0,959	0,93	0,898	0,862	0,823	0,783	0,741	0,699
60	1	0,972	0,993	0,89	0,843	0,794	0,745	0,695	0,646	0,597	0,549
70	1	0,945	0,884	0,822	0,758	0,696	0,636	0,578	0,523	0,471	0,422
75	1	0,931	0,858	0,786	0,715	0,647	0,583	0,522	0,465	0,412	0,363
80	1	0,915	0,83	0,748	0,669	0,596	0,528	0,465	0,407	0,354	0,306
90	1	0,876	0,761	0,656	0,563	0,479	0,406	0,341	0,284	0,235	0,193
95	1	0,844	0,708	0,588	0,487	0,4	0,326	0,263	0,21	0,166	0,129
97	1	0,825	0,675	0,548	0,443	0,355	0,282	0,221	0,171	0,131	0,099
99	1	0,486	0,618	0,484	0,369	0,283	0,213	0,158	0,116	0,083	0,058
99,5	1	0,769	0,588	0,446	0,334	0,249	0,182	0,131	0,092	0,064	0,043
99,7	1	0,756	0,568	0,422	0,312	0,228	0,163	0,114	0,079	0,053	0,034
99,9	1	0,732	0,531	0,381	0,273	0,192	0,131	0,088	0,057	0,036	0,022

Таблица 18 (продолжение)

Ординаты распределения С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля
($\Phi(P, C_v, C_s/C_v) = Y_p/Y_{cp}$)

P, %	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	$C_s = 3,0 C_v$									
0,001	21,3	24,5	27,9	31,5	35,3	39,3	43,4	47,8	52,5	57,4
0,01	14,8	16,8	19	21,2	23,5	25,9	28,4	31	33,7	36,5
0,03	12,1	13,7	15,3	17	18,8	20,6	22,4	24,3	26,3	28,4
0,05	11	12,4	13,8	15,2	16,8	18,3	19,9	21,5	23,3	25,1
0,1	9,49	10,6	11,8	13	14,2	15,4	16,7	18	19,4	20,8
0,3	7,37	8,15	8,94	9,75	10,6	11,4	12,3	13,1	14	14,8
0,5	6,47	7,1	7,75	8,41	9,07	9,74	10,4	11,1	11,8	12,4
1	5,33	5,79	6,26	6,74	7,21	7,68	8,14	8,61	9,07	9,53
3	3,73	3,98	4,2	4,44	4,67	4,89	5,1	5,31	5,51	5,7
5	3,05	3,22	3,37	3,52	3,66	3,8	3,92	4,04	4,15	4,26
10	2,23	2,3	2,36	2,42	2,47	2,51	2,55	2,58	2,6	2,62
20	1,5	1,5	1,5	1,49	1,48	1,46	1,45	1,42	1,4	1,37
25	1,28	1,27	1,25	1,23	1,2	1,18	1,15	1,12	1,08	1,05
30	1,11	1,08	1,06	1,03	0,997	0,964	0,929	0,892	0,855	0,818
40	0,848	0,812	0,775	0,736	0,697	0,659	0,62	0,581	0,544	0,507
50	0,656	0,614	0,572	0,531	0,491	0,452	0,415	0,379	0,345	0,313
60	0,503	0,459	0,417	0,377	0,339	0,304	0,271	0,24	0,212	0,186
70	0,375	0,333	0,293	0,257	0,224	0,194	0,166	0,142	0,121	0,102
75	0,318	0,277	0,239	0,206	0,176	0,149	0,125	0,105	0,087	0,071
80	0,263	0,224	0,19	0,16	0,133	0,11	0,09	0,073	0,059	0,047
90	0,156	0,126	0,1	0,078	0,061	0,047	0,035	0,026	0,019	0,014
95	0,1	0,076	0,057	0,042	0,03	0,022	0,015	0,01	0,007	0,004
97	0,073	0,054	0,038	0,027	0,018	0,012	0,008	0,005	0,003	0,002
99	0,04	0,027	0,017	0,011	0,007	0,004	0,002	0,001	0,001	$4 \cdot 10^{-4}$
99,5	0,028	0,018	0,011	0,006	0,004	0,002	0,001	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
99,7	0,022	0,014	0,008	0,004	0,002	0,001	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$
99,9	0,013	0,007	0,004	0,002	0,001	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$

Таблица 19

**Площадь под кривой стандартного нормального распределения
(накопленная вероятность P), где z – ордината стандартизированного
нормального распределения ($\mu=0$, $\sigma=1$), $-z=f(P)$ при $P<0.5$ и $z=f(1-P)$
при $P \geq 0.5$ и $P=m/(n+1)$**

z	z									
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
0,0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,0	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,2	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,8	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,0	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,7	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
2,9	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
3,0	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010

Учебное издание

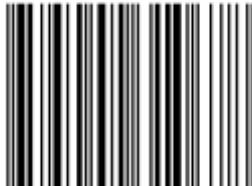
Владимир Алексеевич Лобанов,
Андрей Борисович Лебедев

ПРАКТИКУМ ПО КЛИМАТОЛОГИИ.
(Часть 1, второе издание)

Печатается в авторской редакции.

Подписано в печать 26.03.2024. Формат 60×90 $1/16$. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 7,21. Тираж 150 экз. Заказ № 2103/24-И.

ISBN 978-5-00231-067-8



9 785002 310678 >

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами заказчика.
ООО “Ниц Арт”, 198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.29^а
Тел. (812) 715-05-21 E-mail: izdat@nic-art.ru <http://www.artnw.ru>
