

удобрения кислых почв. Лекция [Текст] / М. Н. Кулешов. – Харьков : Харьк. с.-х. ин-т имени В. В. Докучаева, 1980. – 39 с.

Материал поступил в редакцию 21.04.09.

Морозов Владимир Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, первый проректор, проректор по научно-педагогической работе

Тел. 8 (0552) 41-44-18

E-mail: office@ksau.ua

Бабушкина Руслана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник

Тел. 8 (0552) 41-62-16

E-mail: office@ksau.ua

УДК 502/504 : 631.42

В. В. ШАБАНОВ, Э. С. ШАРШЕЕВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Херсонский государственный аграрный университет»

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЛАГООБМЕНА В ПОЧВЕ

Рассмотрены процессы подготовки и анализа данных средних температур воздуха по декадам. Выявлены статистические параметры распределения вероятности появления определенных температур. Сделан анализ статистических рядов и показано, что закон распределения приближается к нормальному. Предлагаемая методика дает возможность оценить вид кривой распределения и выявить генетически однородные части случайного процесса. В связи со слабой асимметрией и незначительным эксцессом температур сделан вывод о возможности использования в расчетах нормального закона распределения вероятностей.

Кривая распределения, средняя температура воздуха по декадам, закон распределения вероятностей, водный баланс, плодородная почва, обеспеченность территории теплом, вегетационный период, коэффициент асимметрии.

There are considered processes of the analysis and preparation of the data of mean decade air temperatures according to decades. There are found statistical parameters of distribution of probability of occurrence of certain temperatures. The analysis is made of the statistical series and it is shown that the law of distribution is approaching the normal one. The proposed methodic allows to evaluate a type of the distribution curvature and find genetically homogenous parts of the random process. Due to the weak asymmetry and insignificant excess of temperatures there is made a conclusion on the probability of application of the normal law of probabilities distribution in calculations.

Curvature of distribution, average air temperature per decades, the law of probabilities distribution, water balance, fertile soil, heat provision of the area, vegetation period, asymmetry parameter.

Температура воздуха является отражением сложных энергетических процессов, происходящих в системе «атмосфера – океан – суша». Именно эти процессы ответственны за испарение воды и в большинстве случаев определяют расходную часть в уравне-

нии водного баланса территории. Точный учет этой составляющей особенно важен при моделировании изменения влагозапасов в почве, которые напрямую связаны с продуктивностью растения. Кроме того, величина температуры воздуха непосредственно влияет

на температуру почвы, а это определяет интенсивность продуцирования биоты и почвообразовательного процесса [1].

Учитывая, что скорость химических реакций зависит от температуры (при изменении температуры на 10 °С скорость изменяется в 2 раза), можно предположить, что температура существенно влияет и на интенсивность биологических процессов. Предварительные исследования показали, что изменение температуры на 1 °С оказывает примерно такое же влияние на продуктивность растения, как изменение влагозапасов на 10 мм.

Нелинейность зависимости между фотосинтезом картофеля и температурой может быть выражена так [1]:

$$S_t = 2,14 \exp\left(-\frac{\varphi_t^2}{2}\right),$$

где s_t и φ_t – относительная продуктивность и температура соответственно.

Учитывая нелинейность связи в системе «биота – окружающая среда», можно утверждать, что высокие температуры могут способствовать повышению эрозионной устойчивости почвенного покрова. Даже редкие периоды с высокими температурами и низкими осадками могут существенно уменьшить плодородие почвы. Поэтому так актуально количественное изучение этого фактора, который влияет на продуктивность, тепловой и водный балансы.

Средние температуры и их суммы – один из основных показателей при поиске агроклиматического аналога. Известно, что показателем обеспеченности территории теплом является сумма активных температур (активными называются температуры выше 10 °С), которые соответствуют количеству энергии, поступающей на деятельную поверхность почвы. Этот показатель меньше варьирует по площади, чем величина температур, вследствие чего он более удобен для оценки условий теплообеспеченности значительных по размеру территорий.

Каждая культура для своего роста и развития требует определенной

суммы температур. Так, например, для картофеля сумма температур (выше 10 °С) за вегетационный период в среднем должна приблизиться к 1000...1400 °С (для ранних и среднеранних сортов), а для позднеспелых – к 1400...1600 °С.

Требования к температурам в различные периоды жизни у растений неодинаковые. Для фотосинтеза самая благоприятная температура 22...25 °С. Для образования клубней и накопления крахмала наиболее благоприятны температуры почвы 17...18 °С. Высокие температуры (более 30 °С) парализуют ростовые процессы. В такой период рост клубней прекращается, накопление крахмала затухает.

Тепловой режим территории можно охарактеризовать не только суммой температур, но и числом дней (случаев появления) с экстремальными температурами (температуры более 30 °С и менее 0 °С). Средние величины температур и их варьирование (коэффициент вариации) могут считаться адекватной характеристикой процесса только в том случае, когда их распределение близко к нормальному закону. Если распределение не соответствует нормальному закону, необходимы дополнительные характеристики: мода, медиана, мера асимметрии и эксцесса. Расчет этих параметров требует более длительного ряда наблюдений.

Чтобы адекватно описать процесс поступления тепла на территорию и проследить за его трансформацией в виде изменения температур воздуха и почвы, оценить степень их влияния на испарение, необходимо знать закон распределения температур, а для этого нужно вычислить не только первые статистические моменты (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение), но и моменты более высокого порядка (асимметрию и эксцесс).

При поиске агроклиматической аналогии важно не только равенство средних величин температур на двух территориях – территории происхождения растения и территории его переселения, но важно и изменение

температур во времени. Более того, значима частота появления экстремальных температур. Возможно, что наилучшим совпадением условий в аналогичных агроклиматических районах будет совпадение их кривых распределения, а еще лучше совпадение матриц переходных вероятностей [2].

Материалы и методы. Материа-

лом для анализа были многолетние ряды декадных температур воздуха на метеостанции Каракол (Ак-Суйского района Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан). Наблюдения проводились в период с 1960 по 1990 гг.

В качестве примера приведем данные первой декады января в многолетнем разрезе (табл. 1).

Таблица 1

Средняя температура воздуха за первую декаду января (1960–1990), °С

Год t_v	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	
	-5,46	-8,06	-5,73	-6,63	-4,93	-5,32	-0,33	-10,2	-3,2	-10,7	
Год t_v	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	
	-6,84	-5,08	-7,66	-6,95	-6,41	-6,6	-5,9	-7,34	-6,9	-3,4	
Год t_v	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	
	-6,26	-3,61	-3,32	-6,54	-6,23	-7,59	-6,2	-4,8	-4,4	-5,5	
Год t_v	1990	$t_{\text{средняя}} = -5,94$					$\sigma = 2,01$				
	-5,68										

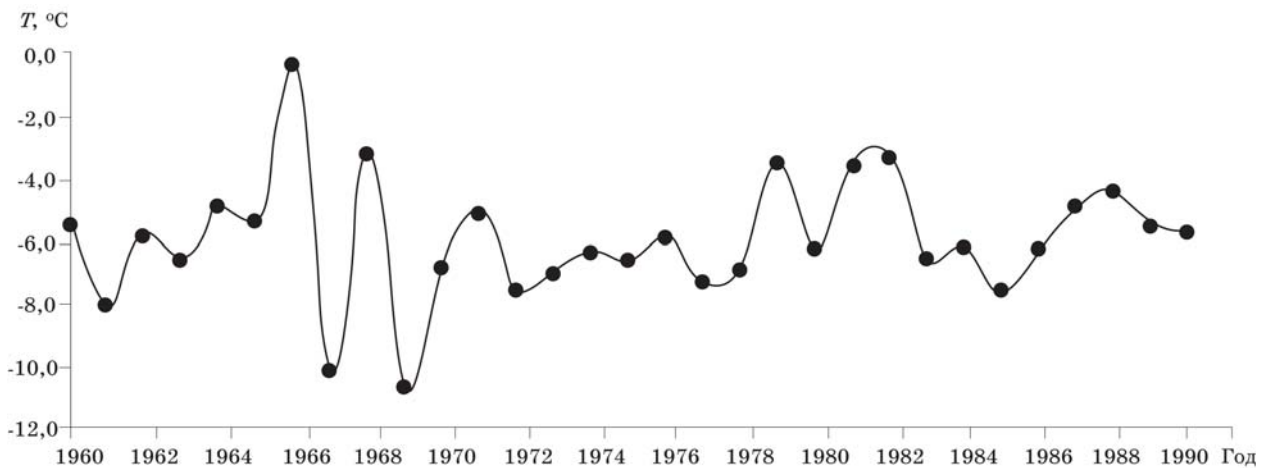


Рис. 1. Изменение температуры воздуха за первую декаду января (1960–1990)

Анализ многолетних данных температур воздуха в первую декаду января показал следующее:

средняя многолетняя температура воздуха $-5,94$ °С;

среднее квадратическое отклонение $\pm 2,01$ °С;

коэффициент вариации составляет $2,01/5,94 = 0,34 \cdot 100 = 34$ %;

начиная с 1966 г. наблюдается выход температур воздуха за пределы диапазона $\pm \sigma$;

максимальная температура воздуха $-0,3$ °С;

минимальная температура воздуха $-10,7$ °С;

амплитуда колебания $-10,4$ °С;

$t_{\text{ср.мн}} + \sigma = -3,94$ °С;

$t_{\text{ср.мн}} - \sigma = 7,94$ °С;

число лет, в которые превышаются значения $t_{\text{ср}} + \sigma$, составляет 5, а число лет, в которые температура ниже значения $t_{\text{ср}} - \sigma$, составляет 2;

тенденций к направленным изменениям температур воздуха (тренду) не наблюдается.

Методы обработки результатов наблюдений стандартные статистические,

используемые для анализа метеорологических и других данных [3, 4].

Математическое ожидание температуры воздуха

$$t^{-j} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N},$$

где i – год; j – декада; N – число лет наблюдений.

Варьирование величины температуры воздуха оценивают средним квадратическим отклонением σ_t , которое рассчитывают по формуле

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n - 1}}, \quad (1)$$

или коэффициентом вариации

$$C_v = \frac{\sigma_t}{\bar{t}} \cdot 100\%.$$

В случае, если обнаруживается, что распределение вероятностей не соответствует нормальному закону, проводят расчет меры (коэффициентов) асимметрии C_s и эксцесса C_ε . Расчет выполняют по следующим формулам:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^3}{n \sigma^3}; \quad (2)$$

$$C_\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^4}{n \sigma^4} - 3. \quad (3)$$

Расчет этих показателей требует существенно большей продолжительности наблюдений, однако и при «средней» продолжительности ряда (30...40 членов) точность для качественного анализа получается удовлетворительной.

Для дополнительной характеристики статистических параметров могут быть рассчитаны мода и медиана.

Мода – это наиболее часто встречающиеся значения переменной данного ряда. Она соответствует максимальному значению в определенной градации признака. Рассчитывали так: выделяли градации в каждой декаде с интервалам по 2 °С (диапазоны 0...2, 2...4, 4...6 °С и т. д.) и определяли «частотность» (частоту) попадания в тот или

иной диапазон. Таким образом, определялась сумма значений, которые попали в данную градацию, например: от 0...2 °С – 15 раз, от 2...4 °С – 13 раз, от 4...6 °С – 9 раз. В этом случае (данной декады) мода будет равна $M_o = 1$ (середица диапазона 0...2 °С).

Медиана M_e лежит в середине ранжированного ряда и делит его пополам. Точки в градациях по столбцу (в столбце значения «частостей», или частот по каждой градации за конкретную декаду) суммируют и находят диапазон со средним количеством точек, который делит ряд на равные части. Градация, в которой находится эта точка, содержит медиану. Среднее значение диапазона градации (при узких диапазонах) является медианой данной декады.

Интегральную вероятность (обеспеченность) рассчитывали по формуле, применяемой в гидрологии температуры воздуха (рис. 2, 3) [2]:

$$P_i = \frac{t_i - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100,$$

где t_i – порядковый номер членов статистического ряда $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$ расположенного в убывающем порядке; n – число наблюдений в ряду; P_i – обеспеченность в процентах.

Изменение температур во времени представляет гармоническую кривую, которая достаточно хорошо ($R^2 = 0,995$) аппроксимируется полиномом 6-й степени. Анализ графика показывает, что отрицательные температуры в рассматриваемом районе невелики – около 6...7 °С. Переход к положительным температурам происходит на 8-й декаде (во 2-й декаде марта), а от положительных к отрицательным – на 32-й декаде (в 3-й декаде ноября). Продолжительность теплого периода составляет 240 дней. Период с эффективными температурами ($t > 10$ °С) начинается с 13-й декады и продолжается до 27-й декады (140 дней). Учитывая, что максимальная температура около 18 °С, можно подсчитать, что сумма эффективных температур составит $\{(10 + 18)/2 \cdot 140\} = 1960$ °С.

Следует отметить, что температур-

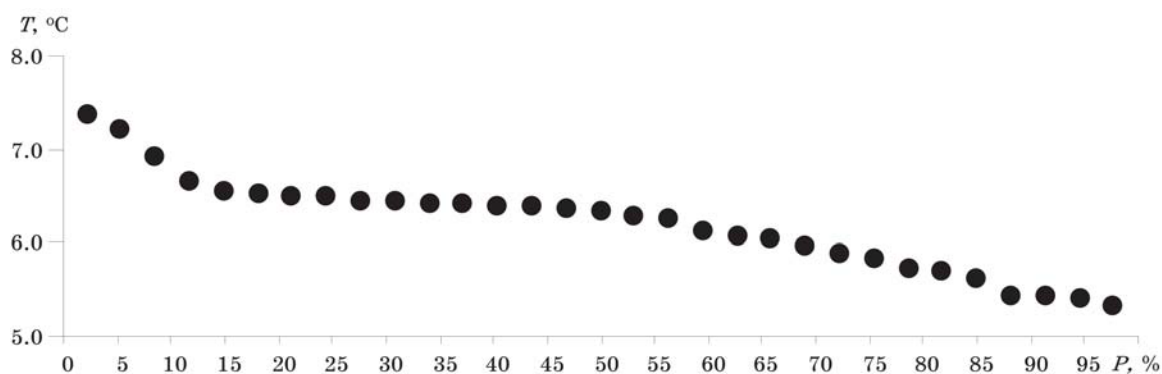


Рис. 2. Обеспеченность температурой воздуха (данные метеостанций города Каракол Иссык-Кульской области)

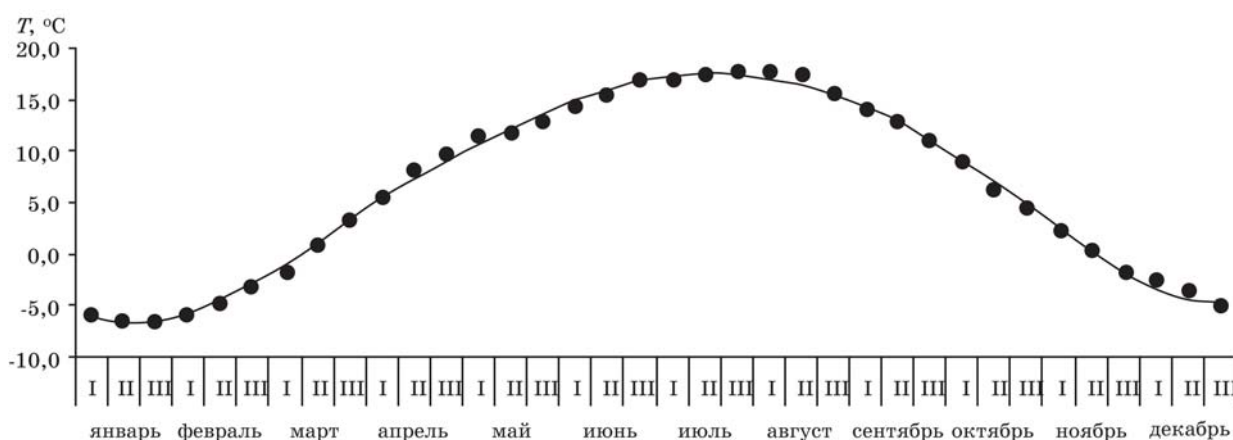


Рис. 3. Показатели средних температур по декадам года. Метеостанция города Каракол Ак-Суйского района Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан (1960–1990). По оси ординат – средние декадные температуры, по оси абсцисс – декады и месяцы

ный режим очень благоприятен для картофеля, оптимальная температура которого в период клубнеобразования должна колебаться в пределах 17...19 °С.

Одной из значимых величин статической совокупности является среднее квадратическое отклонение σ_t , которое при нормальном законе распределения характеризует диапазон изменения параметра $\pm\sigma_t$, содержащий около 67 % всех наблюдаемых величин.

Изменение σ_t во времени показано на рис. 4.

Анализ изменения σ_t во времени показывает, что эта характеристика в пределах года изменяется незначительно. Амплитуда колебаний составляет около 1,5 °С. Среднее значение σ_t

в течение года около 2 °С. Такие параметры более характерны для нормального закона распределения. Кроме того, учитывая существенное изменение средних температур во времени, можно предположить, что коэффициенты вариации в теплый период года (особенно в период наступления эффективных температур) будут минимальными, что весьма существенно для такой теплолюбивой культуры, как картофель.

Зависимость изменения коэффициента вариации показана на рис. 5.

Максимальные коэффициенты вариации наблюдаются во 2-й декаде марта и во второй декаде ноября, что может быть связано с «перестройкой» метеорологических процессов. В период

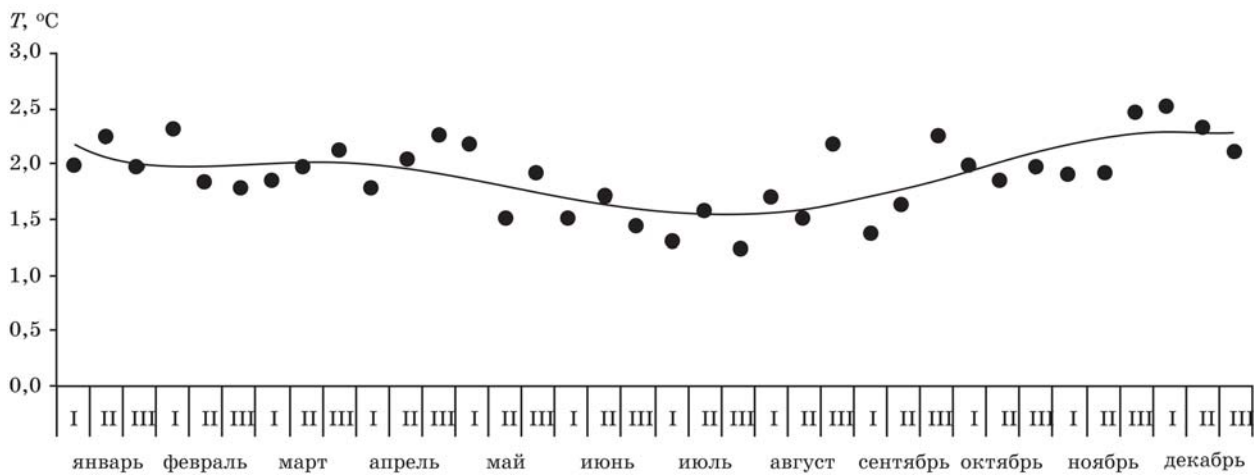


Рис. 4. Средние квадратические отклонения температур за каждую декаду года. Метеостанция города Каракол Ак-Суйского района Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан (1960–1990). По оси ординат – средние квадратические отклонения декадных температур, по оси абсцисс – декады и месяцы

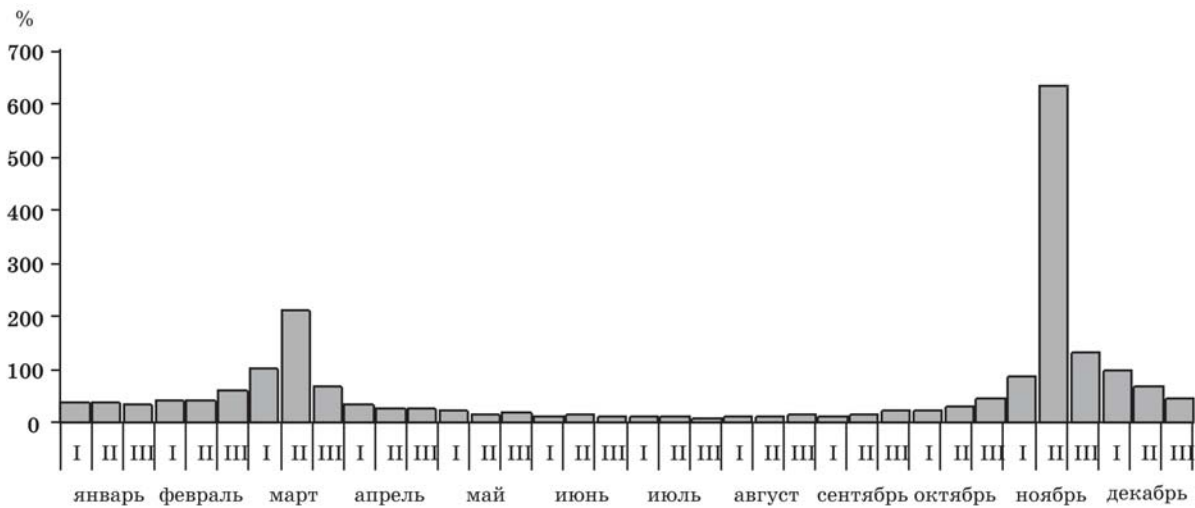


Рис. 5. Коэффициенты вариации температур за каждую декаду года. Метеостанция города Каракол Ак-Суйского района Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан (1960–1990). По оси ординат – коэффициенты вариации декадных температур, по оси абсцисс – декады и месяцы

вегетации с апреля по октябрь варьирование незначительное. Это еще раз дает возможность полагать, что распределение температур, по крайней мере в вегетационный период, приближается к нормальному закону.

Асимметрия и эксцесс законов распределения температур воздуха. С целью анализа характеристик распределения температур рассмотрим параметры более высокого порядка, максимально полно характеризующие отклонение распределения от нормального – коэффициенты асимметрии C_s и эксцесса C_e [см. (2) и (3)].

Графики, показывающие изменение

этих параметров во времени, представлены на рис. 6 и 7. Коэффициент асимметрии колеблется около нулевой величины с максимальной амплитудой $-1,25 \dots +1,25$. В вегетационный период (апрель – октябрь) значения коэффициентов асимметрии в основном не выходят за пределы диапазона $\pm 0,5$.

Аналогичная картина наблюдается и при анализе изменения коэффициентов эксцесса. В вегетационный период коэффициенты эксцесса малы по абсолютной величине, колеблются около нуля с амплитудой ± 1 .

Для того чтобы иметь представление об изменении основных параметров

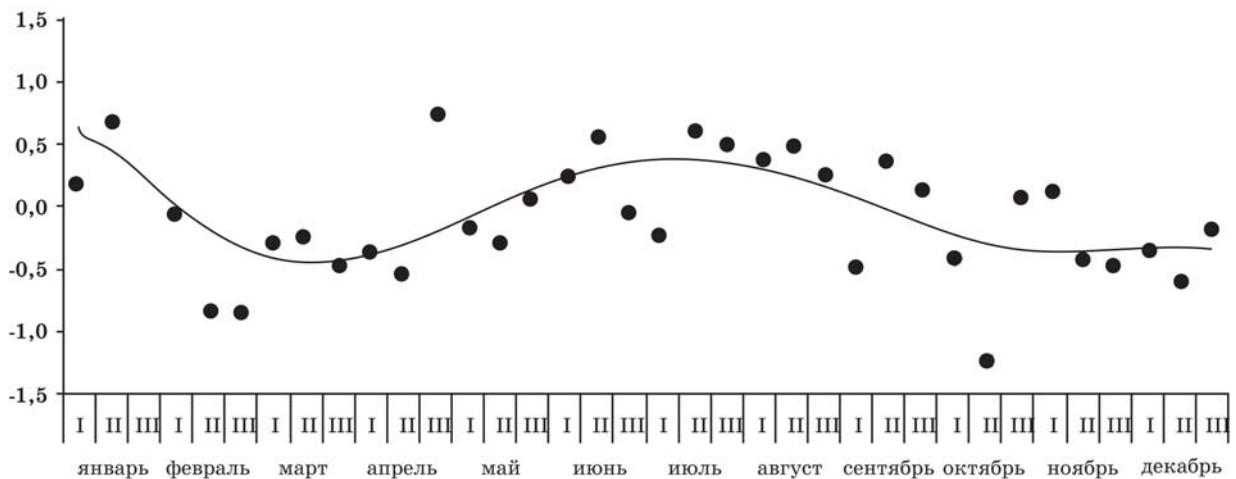


Рис. 6. Коэффициенты асимметрии температур за каждую декаду года. Метеостанция города Каракол Ак-Суйского района Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан (1960–1990). По оси ординат – коэффициенты асимметрии температур (доли единиц), по оси абсцисс – декады и месяцы

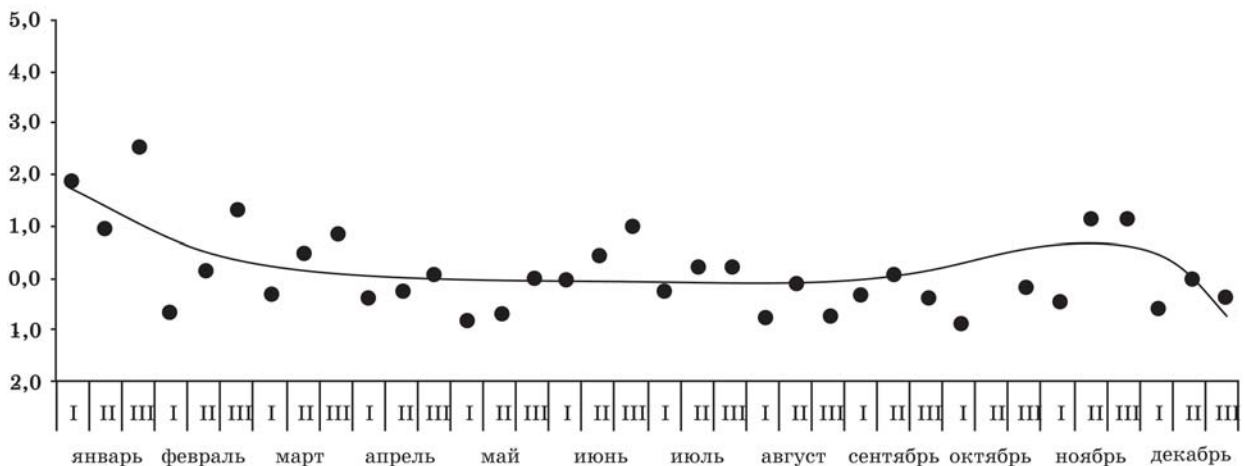


Рис. 7. Коэффициенты эксцесса температур воздуха за каждую декаду года. Метеостанция Каракол Ак-Суйского района Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан (1960–1990). По оси ординат – коэффициенты эксцесса температур (доли единиц), по оси абсцисс – декады и месяцы

законов распределения температур воздуха, приведем сводную таблицу (табл. 2).

Анализ данной таблицы также подтверждает, что распределение достаточно близко к нормальному, по крайней мере в вегетационный период.

Выводы

Анализ изменения декадных температур воздуха на метеостанции Каракол (Ак-Суйского района Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан) за период 1960–1990 гг. показывает следующее:

сумма эффективных температур достигает 1960 °С – это достаточно для выращивания всех сортов картофеля;

температурный режим очень благоприятен для картофеля, оптимальная температура которого в период клубнеобразования должна колебаться в пределах 17...19 °С;

период вегетации (апрель – октябрь) характеризуется малым варьированием, а коэффициент асимметрии колеблется около нулевой величины с максимальной амплитудой –1,2 ... +1,2;

в вегетационный период значения коэффициентов асимметрии в основном не выходят за пределы диапазона ±0,5;

вегетационный период коэффициенты эксцесса малы по абсолютной величине, колеблются около нуля с амплитудой ± 1.

Параметры закона распределения температур воздуха

Месяц	Декада	Эксцесс	Асимметрия	Математическое ожидание, °С	σ , °С	Коэффициент вариации, %	Медиана, °С	Мода, °С
Январь	I	1,8	0,2	-5,9	2,0	33,8	-6,2	-7
	II	0,9	0,7	-6,2	2,2	35,8	-6,4	-5
	III	2,5	1,2	-6,5	2,0	30,2	-6,7	-7
Февраль	I	-0,7	-0,1	-6,0	2,3	38,5	-5,6	-5
	II	0,1	-0,8	-4,7	1,8	39,0	-4,1	-3
	III	1,3	-0,9	-3,2	1,8	56,5	-3,0	-3
Март	I	-0,3	-0,3	-1,9	1,9	99,7	-1,4	-1
	II	0,5	-0,3	0,9	2,0	211,6	1,1	1
	III	0,8	-0,5	3,2	2,1	65,7	3,7	5
Апрель	I	-0,4	-0,4	5,4	1,8	33,1	5,7	5
	II	-0,3	-0,6	8,1	2,0	24,8	8,3	9
	III	0,1	0,7	9,7	2,3	23,4	9,1	9
Май	I	-0,8	-0,2	11,1	2,2	19,6	11,1	11
	II	-0,7	-0,3	11,6	1,5	12,9	11,9	13
	III	0,0	0,0	12,8	1,9	15,1	12,8	13
Июнь	I	0,0	0,2	14,1	1,5	10,7	13,8	13
	II	0,4	0,6	15,1	1,7	11,1	14,7	15
	III	1,0	0,0	16,6	1,4	8,7	16,8	17
Июль	I	-0,3	-0,2	16,8	1,3	7,9	16,8	17
	II	0,2	0,6	17,3	1,6	9,0	17,1	17
	III	0,2	0,5	17,6	1,2	7,0	17,7	17
Август	I	-0,8	0,4	17,6	1,7	9,6	17,5	17
	II	-0,1	0,5	17,3	1,5	8,8	17,2	17
	III	-0,7	0,3	15,5	2,1	13,8	15,2	17
Сентябрь	I	-0,3	-0,5	13,9	1,4	9,9	13,9	15
	II	0,0	0,4	12,8	1,6	12,9	13,0	13
	III	-0,4	0,1	10,7	2,2	20,9	10,2	11
Октябрь	I	-0,9	-0,4	8,8	2,0	22,3	9,3	9
	II	4,1	-1,2	6,4	1,9	29,2	6,5	7
	III	-0,2	0,1	4,5	1,9	43,6	4,5	5
Ноябрь	I	-0,5	0,1	2,3	1,9	82,9	2,1	3
	II	1,0	-0,4	0,3	2,0	632,6	0,0	-1
	III	1,1	-0,5	-1,9	2,5	130,2	-1,5	-1
Декабрь	I	-0,6	-0,4	-2,6	2,5	95,3	-2,4	-1
	II	0,0	-0,6	-3,6	2,3	65,6	-3,4	-5
	III	-0,4	-0,2	-4,9	2,1	42,4	-4,8	-3

Сделанные расчеты дают возможность предположить, что распределение температур воздуха по декадам достаточно близко к нормальному распределению вероятностей, по крайней мере в вегетационный период.

Список литературы

1. **Шабанов, В. В.** Биоклиматическое обоснование мелиораций [Текст] / В. В. Шабанов. – Л. : Гидрометеоздат, 1973. – 165 с.

2. **Чирков, Ю. И.** Агрометеорология [Текст] / Ю. И. Чирков. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 293 с.

3. **Голованов, А. И.** Статистические методы управления качеством окружа-

ющей среды [Электронный ресурс] / А. И. Голованов, З. Сорокин // (<http://www.msuee.ru/html2/meto-dichki.html>). – 2008. – 107 с.

4. **Гулинова, Н. В.** Методы агроклиматической обработки наблюдений [Текст] / Н. В. Гулинова. – Л. : Гидрометеоздат. – 1974. – 150 с.

Материал поступил в редакцию 29.04.09.

Шаршеев Эрмек Сабырович, аспирант
Тел. 8 (495) 976-47-73

Шабанов Виталий Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией комплексных мелиораций

Тел. 8 (495) 976-42-48

E-mail: 5vvsh@rambler.ru