



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(указать вид работы)

На тему «Оценка временной изменчивости метеорологических временных рядов, полученных на метеорологической станции М-2 Парабель»

**Исполнитель**

Галимова Наталья Петровна  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель**

доктор физико-математических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор  
Кузнецов Анатолий Дмитриевич

«28» мая 2020 г.

Санкт-Петербург  
2020

## Оглавление

СОКРАЩЕНИЯ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. Метеорологическая станция М-2 Парабель. ....	7
1.1 География и климат в районе метеорологической станции М-2 Парабель. .....	7
1.2 Техническое оснащение метеорологической станции М-2 Парабель (перечень оборудования, примеры получаемой информации, фото). ....	9
1.3 Методика проведения наблюдений. ....	22
2.Формирование архива метеорологической информации.....	24
2.1 Состав и назначение архива. ....	24
2.2 Контроль качества временных рядов метеорологических величин. ....	25
3.Анализ временной изменчивости рядов метеорологических величин. ....	45
3.1Анализ временной изменчивости статистических характеристик временных рядов метеорологических величин за различные периоды времени. ....	45
3.2.Анализ изменчивости временных трендов и спектральных характеристик временных рядов. ....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	66

## **СОКРАЩЕНИЯ**

АМК	– Автоматический метеорологический комплекс
КСКО	– Критическое значение СКО
СКО	– Среднеквадратическое отклонение
ЭФР	– Эмпирическая функция распределения
ЛЭП	– Линия электропередачи

## ВВЕДЕНИЕ

Ещё в глубокой древности люди интересовались вопросами погоды. Тогда от погоды в значительной мере, чем сейчас зависела жизнь и деятельность человека. Исторические летописи доносят до нас описания чрезвычайных явлений погоды. Наши летописцы в полном смысле слова первые метеорологи на Руси. Метеорология имеет весьма большое значение для различных отраслей народного хозяйства, так как с погодой связано успешное проведение многих мероприятий – ведение сельского и лесного хозяйства, строительство различных сооружений, планировки городов, для авиации, сухопутного и водного транспорта и т.д... Первые наблюдения с помощью приборов стали производиться около середины XVII века. В России регулярные метеонаблюдения при помощи приборов были организованы в 1724 году в городе Санкт-Петербурге, а в XIX веке почти во всех государствах существовала сеть метеостанций. В настоящее время эта сеть в России находится в ведении Росгидромета. Многие метеостанции организуются со специальной целью – на них производятся ещё дополнительные, специальные наблюдения. Это сельскохозяйственные, авиаметеорологические, морские, полярные, лесные, горные, курортные станции и т. д... Своевременный учет гидрометеорологической информации позволяет снижать ущерб от опасных явлений погоды и лучше использовать в производственных целях благоприятные погодные условия – повышать урожайность сельскохозяйственных культур, экономить топливо, сокращать сроки строительства, сроки доставки грузов и т.д.

Информация о сложившихся и ожидаемых погодных условиях всё шире используется в управлении производством, в строительном проектировании. Одной из основных задач территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и наблюдательной сети является обеспечение сохранности репрезентативности местоположения

пункта наблюдений, достоверности результатов наблюдений и однородности их рядов.

К сожалению не все опасные явления в настоящее время подвластны прогнозированию. Современная система организации гидрометеорологических наблюдений и научного прогнозирования Росгидромета позволяет предсказывать, как правило, крупномасштабные опасные явления, охватывающие значительные территории, а местные опасные явления, связанные с активной летней конвекцией, предсказывается хуже. Причиной таких ситуаций является изреженность наблюдательной гидрометеорологической сети в России и особенно в Сибири, что ограничивает поступающую информацию в синоптические отделы.

Экономические потери от роста повседневной изменчивости условий погоды значительно превышают и без того огромные суммы убытков, возникающих каждый год по причине стихийных бедствий.

Вследствие, возрастают требования к гидрометеорологическому обеспечению, а точнее к качеству предоставляемой потребителю информации.

Эффективное достижение таких требований возможно лишь средствами, которые на данное время принято называть «высокими технологиями».

На сегодняшний день в Гидрометеорологической службе почти полностью осуществлена комплексная автоматизация метеостанций, которая включает в себя автоматические системы сбора и обработки первичной метеорологической информации, т. е. автоматизацию процессов, выполняемых персоналом гидрометеорологических станций.

Главное условие такой автоматизации подразумевает, что все действия, выполняемые в настоящее время работниками станций, систематизируются и подводятся к определенному алгоритму, который в свою очередь определяет работу автоматической станции. Анализ функций автоматической метеостанции и решаемых ею задач, дает возможность

представить общую структуру устройства для обработки и передачи метеорологической информации.

Данная работа будет посвящена исследованию временных рядов метеорологических величин на станции М-2 Парабель полученных от АМК.

Актуальность данной темы объясняется тем, что на данный момент оснащены автоматизированными комплексами большинство метеорологических станций. И анализ, исследование и сравнение полученных данных от АМК очень важен в данный момент.

Цели работы состоят в следующем:

- сформировать архив метеорологической информации;
- осуществить контроль качества временных рядов метеорологических величин;
- провести анализ временной изменчивости статистических характеристик временных рядов метеорологических величин за различные периоды времени;

Глава 1 – теоретическая. В этой главе представлено описание и технические характеристики метеорологической станции М-2 Парабель.

Глава 2 – включает в себя теоретические основы анализа, а также производство анализа с помощью одного из методов, результаты проведенного анализа.

Глава 3 – статистическое исследование данных и полученные результаты.

## **1. Метеорологическая станция М-2 Парабель.**

### **1.1 География и климат в районе метеорологической станции М-2 Парабель.**

М-2 Парабель расположена на западной окраине села Парабель Томской области, на небольшой возвышенности на левом берегу реки Оби, протекающей в 3-4км. к северо-востоку от метеорологической станции в направлении с юго-востока на северо-запад. Русло реки извилистое, имеет много притоков. Левый берег реки пойменный, в весенний паводок заливается, правый берег крутой. Берега покрыты лесом и кустарником.

В окрестности метеорологической станции лес лиственных и хвойных пород.

Рельеф неровный - низины, холмы, много болот заросших мхом, багульником и смешанным лесом.

Ближайшее большое болото расположено с восточной и южной сторон метеорологической площадки, находится между метеорологической площадкой и селом Парабель. Южный конец болота пересекается трассами ЛЭП и нефте, газопроводами.

Ширина болота 300м., длина 4,5км.

С западной стороны метеорологической площадки расположена взлётно-посадочная полоса (аэропорт закрылся в 1996году, но в наше время в летний период полосой пользуется авиалесоохрана), с северной и северо-западной стороны расположены бывшие поля совхоза протяженностью около двух километров, за ними протекает речка Вяловка впадающая в реку Парабель, которая является притоком реки Оби.

Метеорологическая площадка расположена на западной окраине села Парабель между болотом и взлётно-посадочной полосой на насыпной укатанной площадке.

Ближайшие постройки (жилой дом, надворные постройки) расположены в 30 метрах от метеорологической площадки на север и северо-восток от неё.

Климат в районе метеорологической станции континентальный, с теплым коротким летом, холодной и продолжительной зимой, а также довольно резкими изменениями всех элементов погоды в сравнительно короткие периоды времени (даже в течение суток). Климат формируется, главным образом, под влиянием воздушных масс Арктики, Атлантики и Средней Азии. Продолжительность безморозного периода 186 дней. Период с температурой воздуха выше 10<sup>0</sup>С продолжается 104 дня.

Нормы сумм осадков и средних температур по декадам и месяцам (Парабель) 1971-2000, рисунок 1.1

	январь				февраль				март			
	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M
осадки	8	8	7	23	7	6	4	16	4	5	6	14
Тем-ра	-19,6	-19,7	-20,0	-19,8	-19,1	-18,8	-15,9	-18,1	-12,8	-10,9	-5,3	-9,6
	апрель				май				Июнь			
	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M
осадки	8	7	9	24	12	17	19	48	19	22	19	60
Тем-ра	-3,8	0,1	2,0	-0,5	5,4	7,1	9,6	7,4	12,5	15,5	17,2	15,0
	июль				август				Сентябрь			
	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M
осадки	17	22	22	62	24	28	26	78	17	16	15	48
Тем-ра	18,3	18,2	18	18,2	16,1	15,2	12,5	14,5	10,1	8,4	5,1	7,9
	октябрь				ноябрь				Декабрь			
	I	II	III	M	I	II	III	M	I	II	III	M
осадки	14	14	15	43	12	12	10	34	10	9	11	31
Тем-ра	2,9	0,4	-3,1	0,0	-8,4	-9,8	-12,2	-10	-15,8	-15,6	-17,8	-16,4

Рис. 1.1.

Из таблицы норм видно, что самым теплым месяцем является июль, средняя многолетняя температура воздуха в июле  $18,2^{\circ}\text{C}$ , а самым холодным январь, средняя многолетняя температура воздуха этого месяца  $-19,8^{\circ}\text{C}$ . Максимальная температура воздуха за последние двадцать лет  $33,8^{\circ}\text{C}$  (наблюдалась в 2017году), минимальная температура воздуха  $-53,3^{\circ}\text{C}$  (наблюдалась в 1999году). Средняя продолжительность устойчивого снежного покрова за последние десять лет – 192 дня. Сумма осадков за год составляет 481 мм. Глубина промерзания почвы в среднем за последние десять лет составила 74см., максимальное её значение наблюдалось в 2010 году 107см., минимальное 43см. в 2018году. Господствующие ветры зимой – юго-западные, летом – северо-западные.

## **1.2 Техническое оснащение метеорологической станции М-2 Парабель (перечень оборудования, примеры получаемой информации, фото).**

На метеорологической станции Парабель наблюдения ведутся по сокращенной программе наблюдений. Ниже представлен план-задание утвержденный начальником ФГБУ «Западно - Сибирское УГМС» (рис. 1.2. - 1.4.)

ПЛАН - ЗАДАНИЕ  
(29128) М-II Парабель

по информации \_\_\_\_\_ на 2020-2022 год

Вид информации	Адрес подачи	Группа: автомат: опознав:	Контрольный срок подачи: (ВСВ)	Период подачи	Средства связи
1	2	3	4	5	6
Синоптика (код КН-01)	Новосибирск погода Новосибирск погода	СМРА91 СИРА91	00,06,12,18 03,09,15,21	Ежедневно	АМК
Штормоповещения об опасных природных гидрометеорологических явлениях (ОЯ) и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях (НГЯ)	Новосибирск погода	WAREP	По мере возникновен.	Круглосуточно	АМК
Агрометинформация (код КН-21 метеочасть)	Новосибирск погода	ЭДРА91	14.00	Декада круглый год	АМК
Снегосъемка (код КН-24)	Новосибирск погода	ЗСРА91	01.00	Декадно - с появлением снежного покрова и до начала снеготаяния	АМК
поле				Пентадно - с начала снеготаяния и до схода снежного покрова	
Штормоповещения об экстремально высоком загрязнении окружающей среды (ЭВЗ) и возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС)	Новосибирск погода	ВГРА44	По мере возникновен.	Немедленно при обнаружении	АМК

Рис. 1.2. План-задание для проведения наблюдений

Парабель М-II

Вид отчетности	Подразделение куда высылается отчет	Срок высылки отчета
Данные метеорологических наблюдений по компьютерной связи; Режимная метеорологическая информация по АРМ Персона МИС	ОМОИ ГМЦ (630099, г.Новосибирск, ул.Советская, 30)	3 числа месяца, следующего за отчетным
Высылка плана технической учебы на предстоящий год	отдел метеорологии Гидрометцентра (ОМ ГМЦ)	до 1 октября
Высылка актов приема зачетов у работников станции по технической учебе за прошедший год	отдел метеорологии Гидрометцентра (ОМ ГМЦ)	к 1 июня
Высылка графиков ТМ-9 (гигрометр с психрометром, гигрометр с датчиком влажности АМК, гигрограф с психрометром): - за август	отдел метеорологии Гидрометцентра (ОМ ГМЦ)	3 сентября
Высылка графиков ТМ-9 (гигрометр с психрометром, гигрометр с датчиком влажности АМК, гигрограф с психрометром): - с 15 сентября по 15 октября	отдел метеорологии Гидрометцентра (ОМ ГМЦ)	16 октября
Высылка графиков ТМ-9 (гигрометр с психрометром, гигрометр с датчиком влажности АМК, гигрограф с психрометром): - проверочный (за холодный период)	отдел метеорологии Гидрометцентра (ОМ ГМЦ)	15 апреля
Сведения о выполнении предложений инспектирующего по метеорологическим и актинометрическим наблюдениям (при наличии актинометрических наблюдений)	отдел метеорологии Гидрометцентра (ОМ ГМЦ)	В установленные инспектором сроки
Книжки КМ-1, КМ-3, КМ-4, КМ-5, ленты самописцев (при наличии самописцев)	отдел метеорологии Гидрометцентра (ОМ ГМЦ)	3 числа месяца, следующего за отчетным
Таблицы ТСХ-1 (при наличии ПЭВМ данные направлять по компьютерной связи)	отдел агрометеорологии Томского ЦГМС (634050, г.Томск, ул.Гагарина, 3, стр.1)	1, 11, 21 числа каждого месяца (круглый год)

Рис. 1.3. План-задание для проведения наблюдений (продолжение)

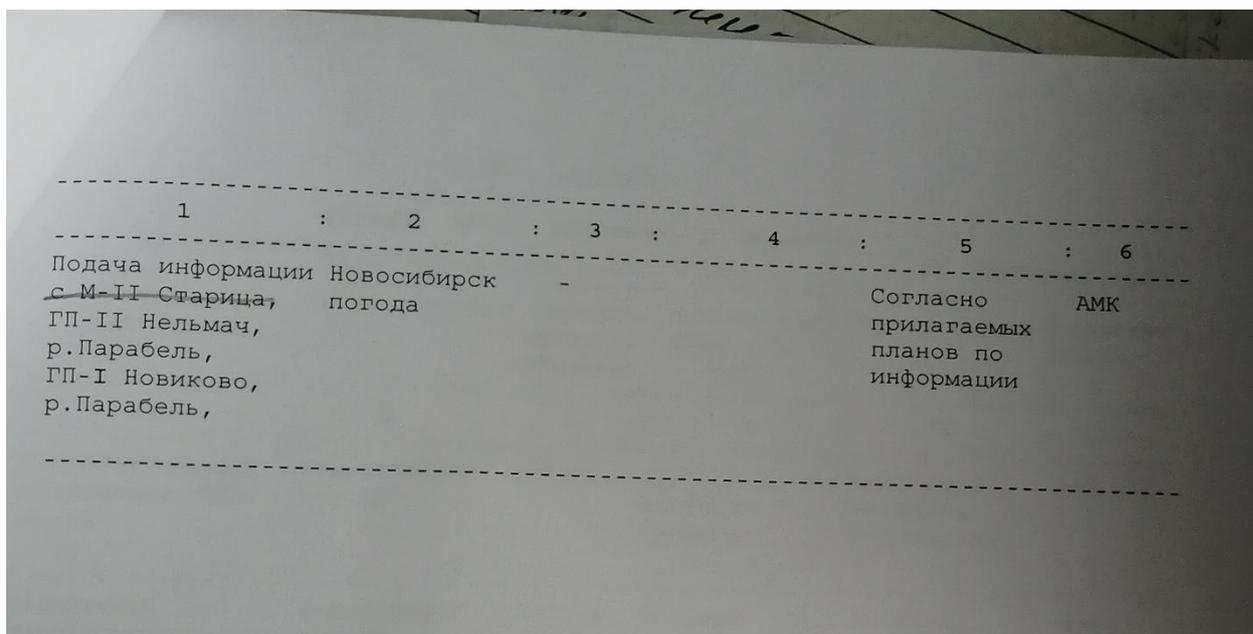


Рис. 1.4. План-задание для проведения наблюдений (продолжение)

На метеорологической площадке установлен геодезический репер (высота над уровнем моря 59.0м),



Рис. 1.5. Флюгер «Вильда» с тяжелой доской





Рис. 1.8 Будка самописцев – термограф и гигрограф



Рис.1.9.Гололедо-изморозевый станок



Рис. 1.10 Психрометрическая будка с установленными приборами (психрометр, максимальный и минимальный термометры, гигрометры)



Рис. 1.11 Осадкомер Третьякова



Рис. 1.12. Три снегомерных рейки (которые устанавливаются перед установлением снежного покрова и убираются после его схода)



Рис. 1.13. Оголенный участок с напочвенными термометрами и датчиком температуры подстилающей поверхности



Рис. 1.14. Участок с естественным растительным покровом, где установлены почвенно-глубинные термометры и мерзлотомеры



Рис. 1.15 Барометры



Рис. 1.16 Барограф



Рис. 1.17. Автоматизированный метеорологический комплекс (АМК) с датчиком температуры и влажности воздуха , направлением и скоростью ветра.

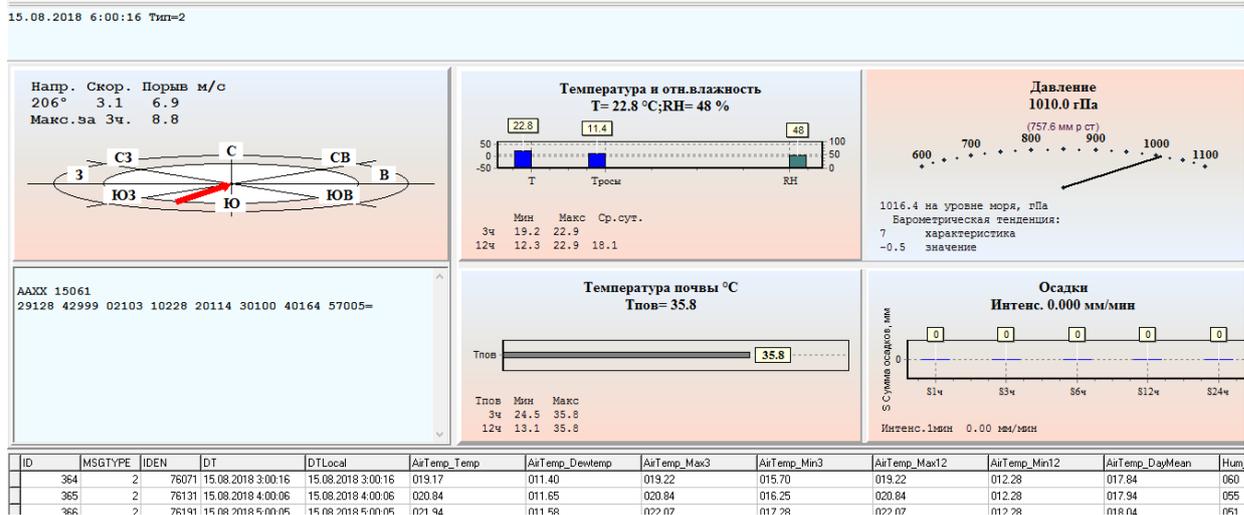


Рис. 1.18. Получаемая информация от станции АМК

### 1.3 Методика проведения наблюдений.

Наблюдения за метеорологическими характеристиками на М-2 Парабель проводятся согласно типового порядка (рисунок 1.19 – 1.20.)

выполнения 8-срочных метеорологических наблюдений при наличии на станции АМК.

Время ВСВ		Метеорологическая характеристика	Выполняемая работа
ч	мин		
14,17,20,23,02,05,08,11	30		Обход метеорологической площадки. Проверка исправности приборов и установок. Подготовка приборов к измерениям.
23	42	Состояние подстилающей поверхности при наличии снежного покрова.	Оценка степени покрытия окрестности снегом, измерение высоты снежного покрова по постоянным рейкам.
23,11	42	Состояние подстилающей поверхности при отсутствии снежного покрова.	Визуальная оценка состояния подстилающей поверхности.
14,17,20,23,02,05,08,11	43	Температура почвы на глубинах.	Отсчеты по вытяжным почвенно-глубинным термометрам на глубинах 0.20 и 0.40 м в теплую половину года.
05	45	Температура почвы на глубинах.	Отсчеты по вытяжным почвенно-глубинным термометрам на глубинах 0.20 и 0.40 м (в холодную половину года), на глубинах 0.80; 1.20; 1.60; 2.40; 3.20 м (круглогодично).
14,17,20,23,02,05,08,11	47	облачность	Определение кол-ва и форм облаков, а также высоты нижней границы облаков (при визуальных наблюдениях).
14,17,20,23,02,05,08,11	48	Метеорологическая дальность видимости	Определение МДВ по объектам или инструментальные измерения.
05	49	Температура и влажность воздуха	Смена диаграммных бланков самописцев.

Рис.1.19 Регламент выполнения метеорологических наблюдений на АМК

23,11	52	осадки	Смена сосудов осадкомера.
14,17,20,23,02,05,08,11	53		Возвращение с метеорологической площадки в служебное помещение. Включение ИВО (РВО).
14,17,20,23,02,05,08,11	54	облачность	Измерение высоты нижней границы облаков с помощью ИВО (РВО).
23,11	56	осадки	Измерение кол-ва осадков, введение поправки на смачивание.
14,17,20,23,02,05,08,11	57	Характеристика состояния погоды	Определение характеристики состояния погоды в срок и между сроками
14,17,20,23,02,05,08,11	59	Характеристики, не измеряемые АМК	Ручной ввод метеорологических характеристик в АРМ-метеоролога
15,18,21,00,03,06,09,12	01	Характеристики измеренные АМК	Снятие и запись в КМ-1 данных измерений, выполненных АМК за 10-минутный (50-00мин) интервал срочного часа (главное окно АРМ-метеоролога: просмотр отсчеты -отсчеты по срокам)
15,18,21,00,03,06,09,12	02-05		Передача сводки в коде КН-01 (осуществляется автоматически после завершения ввода метеорологических характеристик в АРМ-метеоролога)

Рис. 1.20 Регламент выполнения метеорологических наблюдений на АМК (продолжение)

Как видно из выше приведенной таблицы, на нашей станции наблюдения ведутся в строго зафиксированное время, согласно «Наставления» с использованием данных АМК. По основным средствам измерения наблюдения ведутся в 12ВСВ для сравнения с АМК и во все сроки в случае выхода из строя АМК.

## 2.Формирование архива метеорологической информации.

Метеорологическая информация ежеминутно поступающая от датчиков расположенных на метеорологической площадке (датчик температуры и влажности воздуха, температуры поверхности почвы или снежного покрова, направления и скорости ветра) и в помещении метеостанции (датчик давления воздуха) на контроллер АМК, который в свою очередь обрабатывает и передает эту информацию на рабочий компьютер дежурного наблюдателя. Такая информация имеет вид представленный на рисунке 2.1

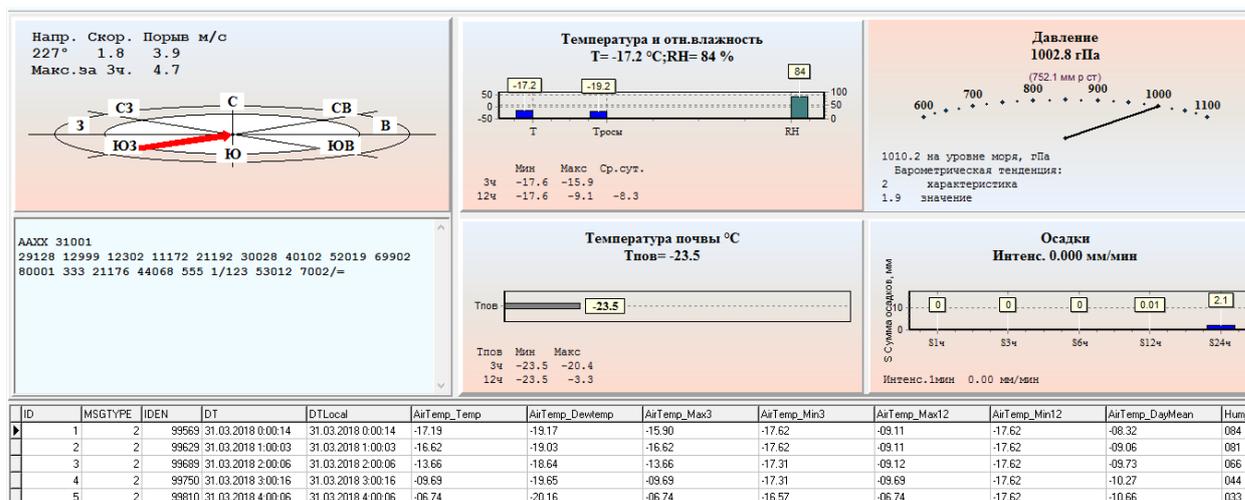


Рис. 2.1 Интерфейс АМК

В свою очередь архивируется информация за каждый час.

### 2.1 Состав и назначение архива.

Архив АМК состоит из полученных данных от датчиков измерений температуры воздуха, точки росы, максимальной и минимальной температуры воздуха за 3 и 12 часов, температуры подстилающей поверхности, максимальной и минимальной температуры подстилающей поверхности за 3 и 12 часов, среднесуточной температуры воздуха,

относительной влажности, давления на станции, давления уровня моря, характеристики барической тенденции. Средней, мгновенной скорости и направления ветра, максимальной скорости ветра за 3 часа, упругости водяного пара.

Архив предназначен для сбора, хранения метеорологической информации и её исследования. На рисунке 2.2 представлена часть архива метеорологических величин полученных от АМК за 01 апреля 2019 года.

ID	MSG	IDEN	DT	DTLocal	AirTemp_Temp	AirTemp_Dew	AirTemp_Max3	AirTemp_Min3	AirTemp_AirTemp	AirTemp_Hum	Rel	Sun_Dur	Si	Pres_Stati	Pres_Seal	
1																
2	1	2	44189	####	01.04.2019 1:00	-0,93	-2,02	-0,58	-1,51	0,14	-1,51	0,8	92	////	1002,27	1009,25
3	2	2	44249	####	01.04.2019 2:00	-0,3	-1,81	-0,3	-1,51	0,13	-1,51	0,71	89	////	1003,07	1010,04
4	3	2	44310	####	01.04.2019 3:00	0,04	-1,85	0,23	-1,51	0,23	-1,51	0,62	87	////	1003,6	1010,57
5	4	2	44370	####	01.04.2019 4:00	1,43	-1,49	1,43	-0,92	1,43	-1,51	0,52	80	////	1004,28	1011,21
6	5	2	44430	####	01.04.2019 5:00	1,95	-2,22	2,49	-0,29	2,49	-1,51	0,45	73	////	1004,93	1011,86
7	6	2	44491	####	01.04.2019 6:00	0,63	-0,37	2,49	0,05	2,49	-1,51	0,35	93	////	1005,89	1012,85
8	7	2	44551	####	01.04.2019 7:00	2,55	-1,23	2,55	0,62	2,55	-1,51	0,33	76	////	1006,6	1013,52
9	8	2	44611	####	01.04.2019 8:00	3,14	-2,97	3,32	0,62	3,32	-1,51	0,36	64	////	1007,27	1014,18
10	9	2	44672	####	01.04.2019 9:00	4,11	-4,46	4,76	0,66	4,76	-1,51	0,46	53	////	1007,87	1014,76
11	#	2	44732	####	01.04.2019 10:00	4,96	-4,36	4,96	2,62	4,96	-1,51	0,59	50	////	1008,46	1015,34
12	#	2	44792	####	01.04.2019 11:00	5,62	-6,56	5,62	3,16	5,62	-1,51	0,77	41	////	1008,99	1015,86
13	#	2	44853	####	01.04.2019 12:00	5,74	-7,08	5,9	3,89	5,9	-1,51	0,99	39	////	1009,2	1016,07
14	#	2	44913	####	01.04.2019 13:00	3,96	-5,52	5,9	3,96	5,9	-0,92	1,18	50	////	1009,5	1016,41
15	#	2	44973	####	01.04.2019 14:00	1,36	-4,61	5,9	1,36	5,9	-0,29	1,29	64	////	1009,53	1016,51
16	#	2	45034	####	01.04.2019 15:00	1,66	-4,83	5,71	1,35	5,9	0,05	1,35	62	////	1009,64	1016,61
17	#	2	45094	####	01.04.2019 16:00	2,38	-4,2	3,92	1,35	5,9	0,62	1,43	61	////	1009,23	1016,18
18	#	2	45153	####	01.04.2019 17:00	2,27	-2,27	2,25	1,25	5,9	0,62	1,51	62	////	1008,91	1015,85

Рис. 2.2 Фрагмент архива метеорологических величин полученных от АМК за 01 апреля 2019 года

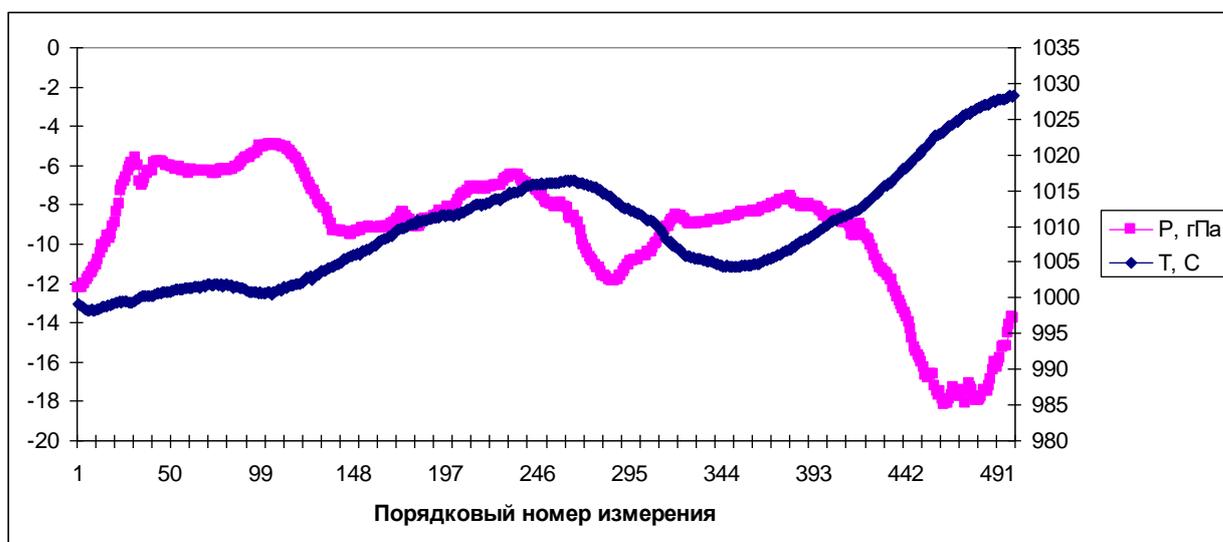


Рис. 2.3 Совместное представление временных рядов температуры и давления

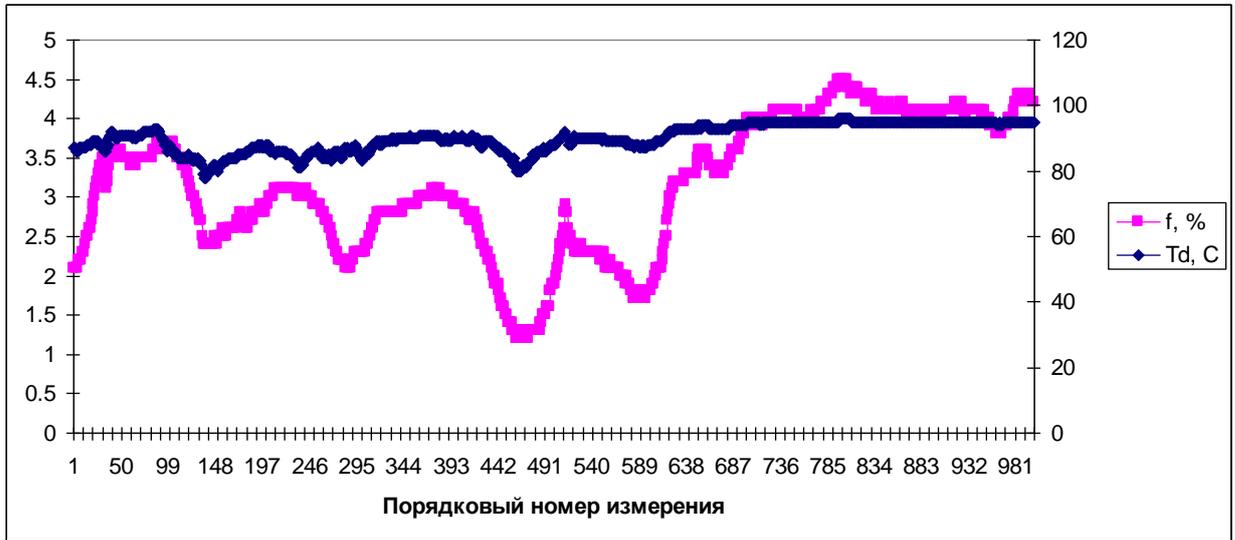


Рис.2.4 Совместное представление временных рядов относительной влажности и точки росы

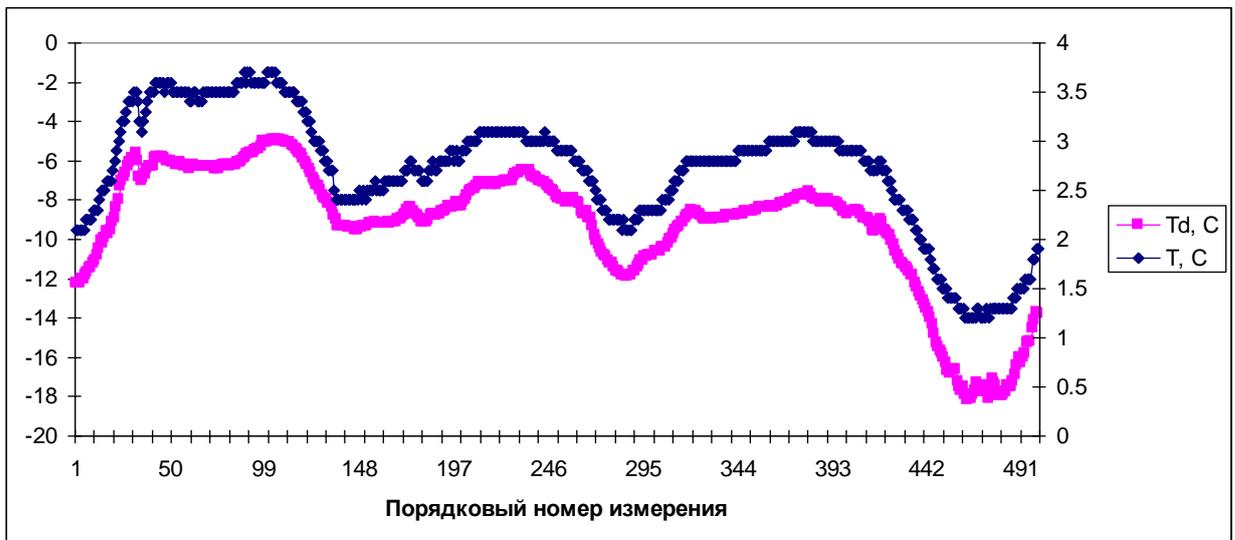


Рис. 2.5 Совместное представление временных рядов температуры и точки росы

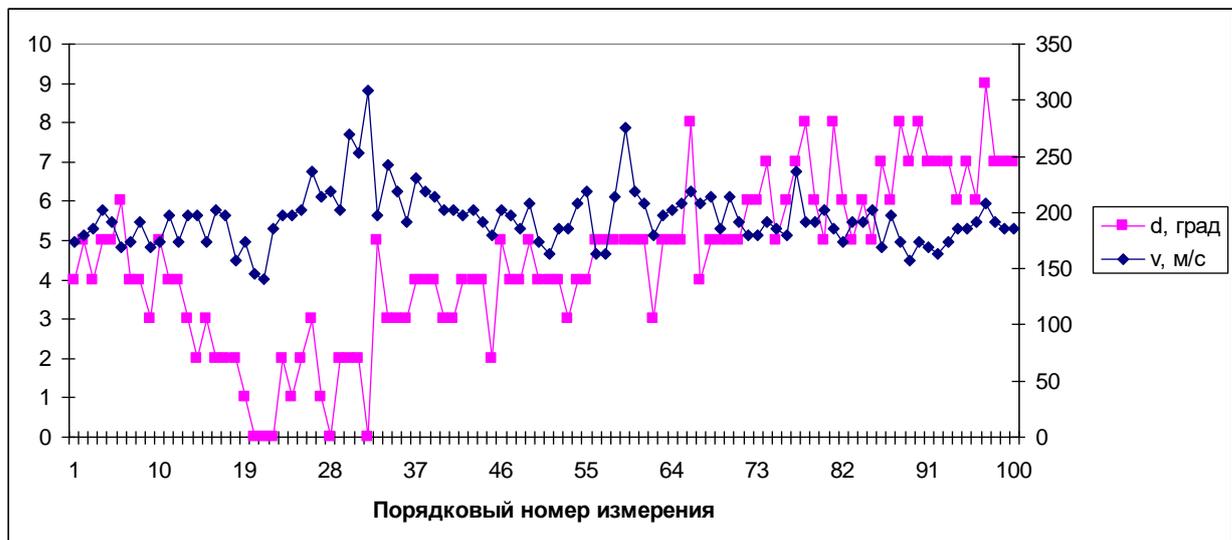


Рис.2.6 Совместное представление временных рядов направления и скорости ветра

## 2.2 Контроль качества временных рядов метеорологических величин.

Временной ряд – это расположенные в хронологическом порядке измеренные или заданные одно или конечное множество случайных метеорологических величин, соответствующих определенным моментам времени.

Временной ряд включает в себя отметку времени и значение показателя ряда, соответствующее указанной отметке времени.

Если в результате измерения, наблюдения регистрируется только одно число, то такую случайную величину принято называть одномерной. Если же результатом измерения является регистрация целого набора характеристик, то случайную величину называют многомерной.

Различают два типа одномерной случайной величины: непрерывные и дискретные (прерывистые).

Если время непрерывно, временной ряд называется непрерывным. Если время изменяется дискретно, то временной ряд дискретен.

При этом его значения могут быть взяты как через равные, так и через неравные промежутки времени. Тогда, в первом случае временной ряд будет называться эквидистантным, а во втором - неэквидистантным.

Промежутки времени, через которые берется временной ряд, называют интервалом дискретизации (шагом).

Одномерный временной ряд называется стационарным, если его вероятностные характеристики (статистические параметры случайной величины: среднее значение, стандартное отклонение и т.п.) постоянны (не изменяются со временем).

Временной ряд называется нестационарным, если хотя бы одна из его вероятностных характеристик непостоянна.

Контроль качества временных рядов включает в себя следующие этапы:

- графическое представление временных рядов по сезонам 2019года в нашем случае это январь, апрель, июль и сентябрь;
- обнаружение временных разрывов (пропусков) временных рядов;
- обнаружение и устранение выбросов временных рядов;
- восстановление временных рядов, устранение обнаруженных временных разрывов и выбросов.

На рис. 2.3 представлен пример временных рядов с разрывом в программе «Excel».

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
93	#	2	49740	###	04.04.2019 21:00	-7,24	-8,35	-4,66	-7,24	7,22	-7,24	-0,05	91
94	#	2	49800	###	04.04.2019 22:00	-7,47	-8,44	-5,84	-7,47	7,08	-7,47	-0,11	92
95	#	2	49860	###	04.04.2019 23:00	-8,37	-9,23	-6,13	-8,37	6,96	-8,37	-0,17	93
96	#	2	49921	###	05.04.2019 0:00	-8,59	-9,31	-7,15	-8,83	6,51	-8,83	-0,25	94
97	#	2	49981	###	05.04.2019 1:00	-8,06	-8,79	-7,52	-8,85	3,11	-8,85	-0,34	94
98	#	2	50041	###	05.04.2019 2:00	-2	-6,77	-1,94	-8,85	-0,97	-8,85	-0,38	69
99	#	2	50102	###	05.04.2019 3:00	3,12	-7,56	3,12	-8,85	3,12	-8,85	-0,35	45
100	#	2	50162	###	05.04.2019 4:00		-10,25	3,9	-8,01	3,9	-8,85	-0,34	35
101	#	2	50222	###	05.04.2019 5:00	5,15	-11,48	5,94	-1,94	5,94	-8,85	-0,31	28
102	#	2	50283	###	05.04.2019 6:00	6,17	-11,19	6,31	2,49	6,31	-8,85	-0,31	27
103	#	2	50343	###	05.04.2019 7:00	7,26	-12,2	8,05	3,78	8,05	-8,85	-0,28	23
104	#	2	50403	###	05.04.2019 8:00	7,62	-11,51	8,41	5,15	8,41	-8,85	-0,24	24
105	#	2	50464	###	05.04.2019 9:00	7,69	-11,39	8,65	6,22	8,65	-8,85	-0,2	24

Рис. 2.3 Пример данных с наличием разрыва временного ряда  
05.04.2019г.

Чтобы графически представить временные разрывы, построим, например, график распределения температуры воздуха за 05.04.2019г. (рис. 2.4).

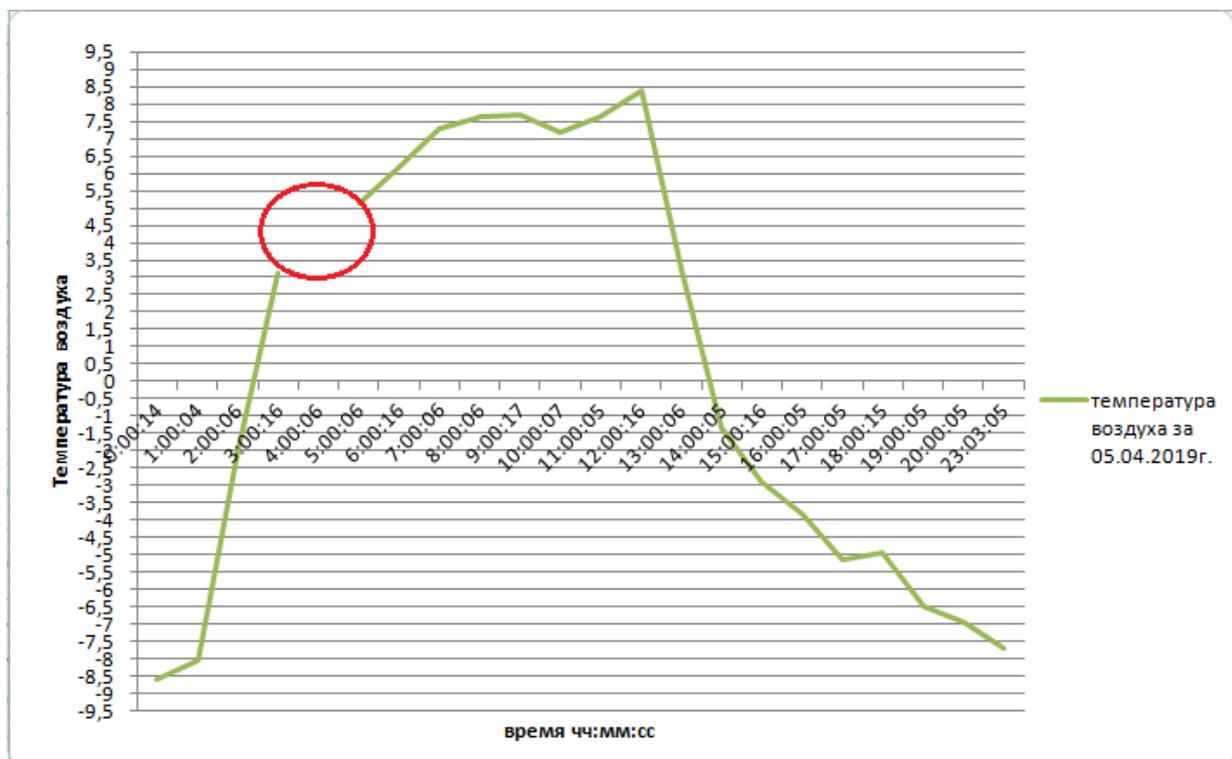


Рис. 2.4 Распределение временного ряда температуры воздуха за 05.04.2019г.

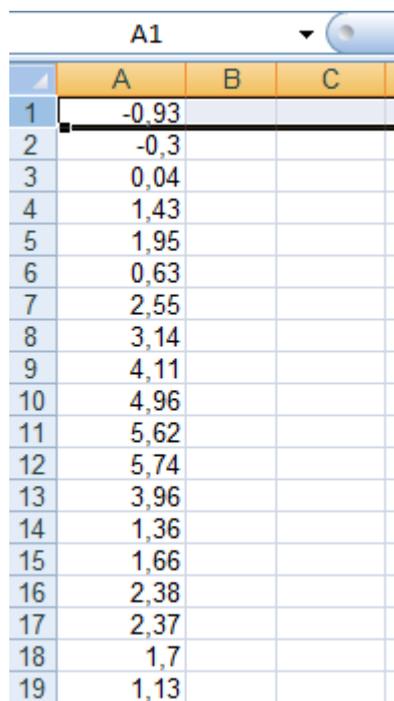
Красным цветом выделено место пропуска наблюдений. Для обработки данных ряда в дальнейшем, необходимо избавиться от пропуска. Для этого был применён метод линейной интерполяции, так как исследуемая метеорологическая величина, изменяется по линейному закону. Пример восстановленного ряда и его исходный вид показан на рис. 2.5

05.04.2019 1:00	-8,06	05.04.2019 1:00	-8,06
05.04.2019 2:00:0	-2	05.04.2019 2:00:0	-2
05.04.2019 3:00	3,12	05.04.2019 3:00	3,12
05.04.2019 4:00:06	○	05.04.2019 4:00:0	4,14
05.04.2019 5:00	5,15	05.04.2019 5:00	5,15
05.04.2019 6:00	6,17	05.04.2019 6:00	6,17
05.04.2019 7:00	7,26	05.04.2019 7:00	7,26

Рис. 2.5 Восстановленное значение температуры воздуха методом линейной интерполяции.

Далее проводим проверку полученных рядов с помощью программы «Контроль 4М по отрезкам» в пакете «Excel» на наличие оставшихся (не замеченных визуально) пропусков и «выбросов». В данной программе мы вставляем исследуемый на разрывы ряд на лист 1 (см. рис. 2.6), например, температуры воздуха, после чего запускаем макрос. В появившемся диалоговом окне вводим запрашиваемые параметры (рис.2.7-2.13):

- 1) номер колонки, содержащей проверяемый ряд (колонке «А» соответствует номер 1, колонке «В» соответствует номер 2 и т.д.);
- 2) длину проверяемого ряда;
- 3) длину контрольного отрезка, для которого будут вычисляться среднее значение и среднеквадратическое отклонение (СКО);
- 4) коэффициент КСКО, позволяющий рассчитать критическое значение СКО отрезка временного ряда.



	A	B	C
1	-0.93		
2	-0,3		
3	0,04		
4	1,43		
5	1,95		
6	0,63		
7	2,55		
8	3,14		
9	4,11		
10	4,96		
11	5,62		
12	5,74		
13	3,96		
14	1,36		
15	1,66		
16	2,38		
17	2,37		
18	1,7		
19	1,13		

Рис. 2.6 Фрагмент представления данных на Листе 1

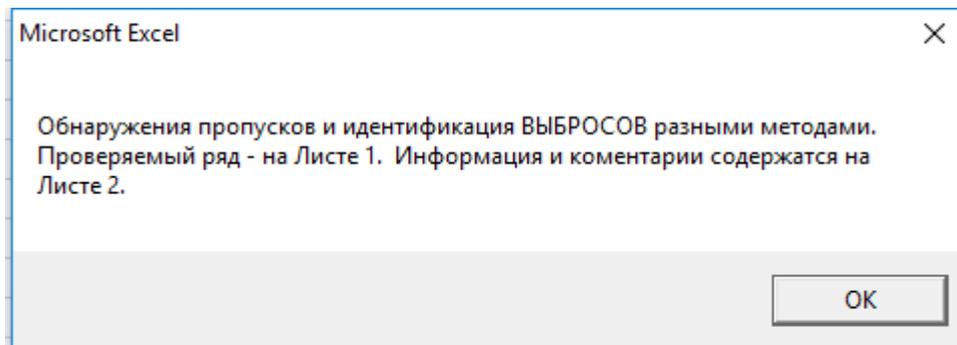


Рис. 2.7 Информационное сообщение - нажимаем «ОК»

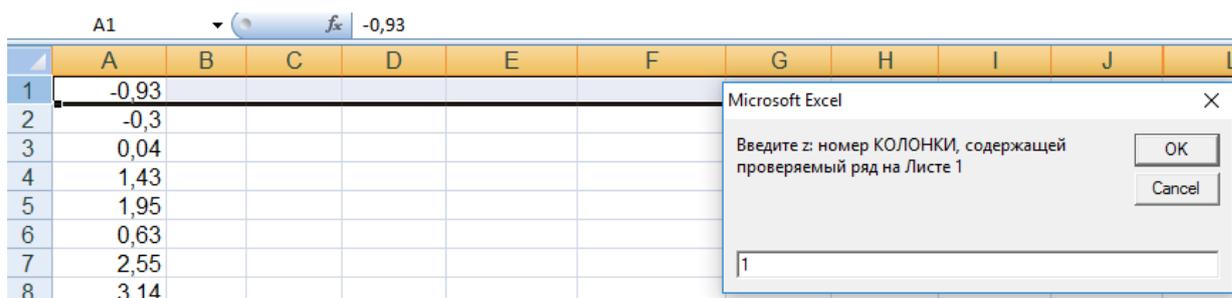


Рис. 2.8 Вводим номер колонки, содержащей проверяемый ряд, в нашем случае «1», нажимаем «ОК».

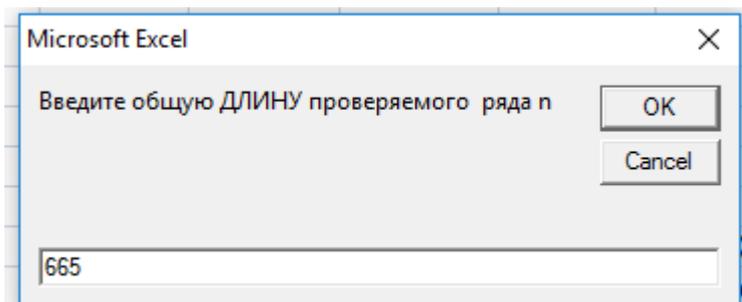


Рис 2.9 Вводим длину проверяемого ряда, нажимаем «ОК».

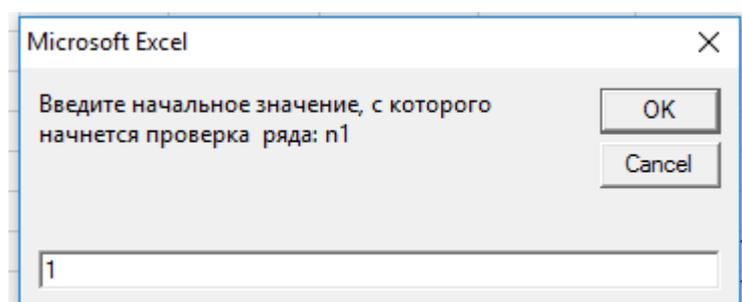


Рис 2.10 Вводим начальное значение проверяемого ряда «1».

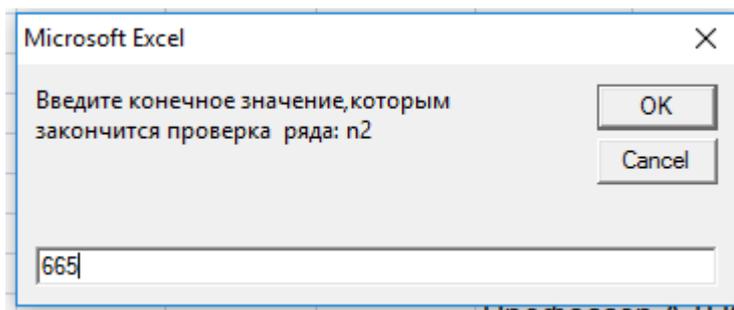


Рис. 2.11 Вводим конечное значение проверяемого ряда, в нашем случае «665».

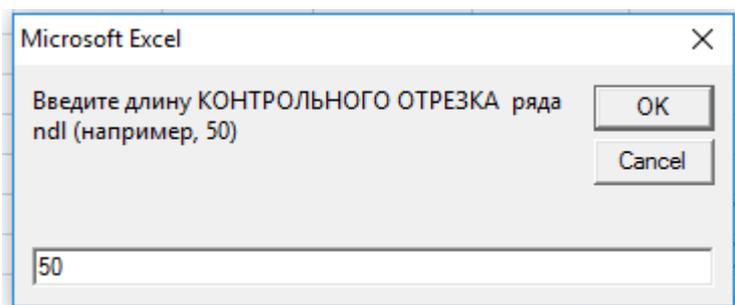


Рис. 2.12 Вводим значение параметра nd1, равное «50»

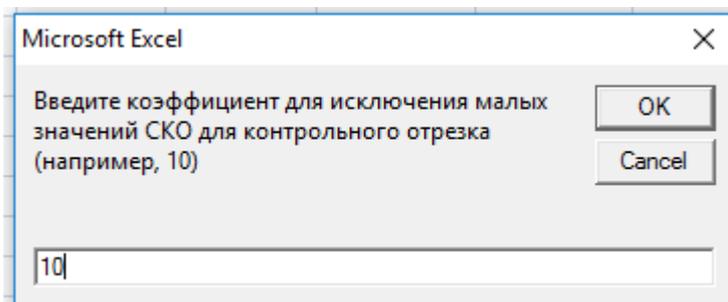


Рис. 2.13 Вводим КСКО равный 10

После работы программы, появляется результат на листе 1 (рис. 2.14) и на листе 2 (рис. 2.15), где видны порядковые номера значений, «подозрительных» на наличие разрывов.

1	-0,93					Номер колонки с рядом	1
2	-0,3					Общее число значений	665
3	0,04					Начальное значение n1	1
4	1,43					Конечное значение n2	665
5	1,95					Длина контрольного от	50
6	0,63					Значие коэффициента	10
7	2,55						
8	3,14						
9	4,11						
10	4,96					РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ	
11	5,62					К а ф е д р а ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ	
12	5,74					Обнаружения пропусков и идентификация ВЫБРОСОВ разными методами	
13	3,96					Профессор А.Д.Кузнецов	
14	1,36						
15	1,66					Перед запуском программы введите:	
16	2,38					№ колонки с исследуемым рядом	
17	2,37					По отрезкам длины n1 рассчитываются среднее и СКО.	
18	1,7					Наличие выброса проверяется методами	
19	1,13					Метод 1: Контроль по разности двух значений: n1 и n1+1 относительно СКО участка дл	
20	0,99					Метод 2: Контроль по разности двух значений: значения n1+1 и среднего на участке nс	
21	0,62					Метод 3: в пределах контрольного участка разность значения ряда и среднего сравни	
22	0,81					Метод 4: метод Ирвина	
23	1,11						
24	1,24					На листе 2 в колонку 1 записывается исходный ряд	
25	1,98					На листе 2 в колонку 2 записывается индикатор выброса (метод 1)	
26	0,85					На листе 2 в колонку 3 записывается индикатор выброса (метод 2)	
27	1,31					На листе 2 в колонку 4 записывается индикатор выброса (метод 3)	
						На листе 2 в колонку 5 записывается индикатор выброса (метод Ирвина)	

Рис. 2.14 Вид листа 1 после работы программы.

Метод 1: колонка 2	Метод 2: колонка 3	Метод 3: колонка 4		
Число превышений 3*СКО	1	Число превышений 3*СКО	5	Число превышений 1*СКО 224
Число превышений 4*СКО	1	Число превышений 4*СКО	1	Число превышений 2*СКО 22
Число превышений 5*СКО	0	Число превышений 5*СКО	0	Число превышений 2.5*СКО 8
Число превышений 6*СКО	0	Число превышений 6*СКО	0	Число превышений 3*СКО 1
			Номер колонки с рядом на Листе 1	1
			Общее число значений ряда:	665
			Длина контрольного отрезка ряда:	50
			Начальное значение n1	1
			Конечное значение n2	665
Пробелы не обнаружены			Значие коэффициента kско:	10
			На листе 1 должен присутствовать исследуемый ряд.	
			По отрезкам длины n1 рассчитывается статистика (СКО),	
Среднее ряда от n1 до n2:	0,09		и по СКО разными способами находятся возможные выбросы.	
СКО ряда n1 до n2:	4,85			
Контроль			На листе 2 в колонку 1 записывается исходный ряд	
не производится			На листе 2 в колонку 2 записывается индикатор выброса (метод 1)	
если СКО отрезка			На листе 2 в колонку 3 записывается индикатор выброса (метод 2)	
меньше =>	0,48		На листе 2 в колонку 4 записывается индикатор выброса (метод 3)	
			На листе 2 в колонку 5 записывается индикатор выброса (метод Ирвина)	
			На листе 2 в колонки 7-20 записываются №№ или общее число выбросов	

Рис. 2.15 Вид листа 2 после работы программы.

В программе предусмотрено четыре метода контроля наличия резких изменений метеорологического параметра во времени.

Окончательное решение о том, является ли то или иное определенное программой значение временного ряда выбросом остаётся за исследователем.

Метод 1:

При использовании этого метода используются введенные ранее - длина «контрольного участка» временного ряда  $ndl$  и коэффициент КСКО.

Алгоритм:

На участке от  $n = 1$  до  $n = ndl$  рассчитывается величина СКО.

Затем последнее значение этого контрольного участка ( $n = ndl$ ) сравнивается с граничным для этого отрезка значением ( $n = ndl+1$ ) и по абсолютной величине их разности определяется, во сколько раз она превосходит среднее квадратическое отклонение (СКО): от 3 до 6 раз.

При этом, если вычисленное значение СКО (от  $n = 1$  до  $n = ndl$ ) оказывается в КСКО раз меньше СКО для всего ряда (от  $n = 1$  до  $n = N$ ), то сравнение абсолютных разностей не производится - на контрольном участке изменчивость слишком мала и не может служить критерием наличия или отсутствия выброса.

Затем границы контрольного участка сдвигаются на один шаг вперед, и процедура оценивания повторяется: рассматривается отрезок ряда от  $n = 2$  до  $n = ndl + 1$ .

Процесс проверки завершается, когда граничным значением для участка длиной  $ndl$  становится последний элемент ряда:  $n = N$ .

Анализ полученных с использованием метода 1 данных.

Для визуального контроля проверяемого временного ряда построим его график (рис. 2.16). Мы видим участок, «подозрительный» на наличие выброса. На рисунке он отмечен красным кружком.

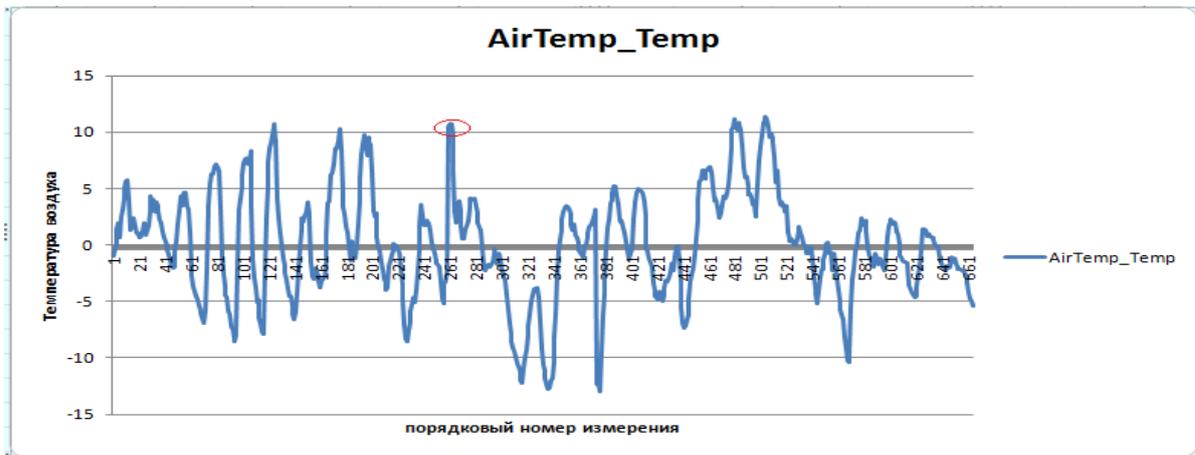


Рис. 2.16 График рассматриваемого временного ряда.

Для предварительного определения порядкового номера того или иного «подозрительного» участка наводим на соответствующую точку курсор – высветится порядковый номер этой точки (рис. 2.17).

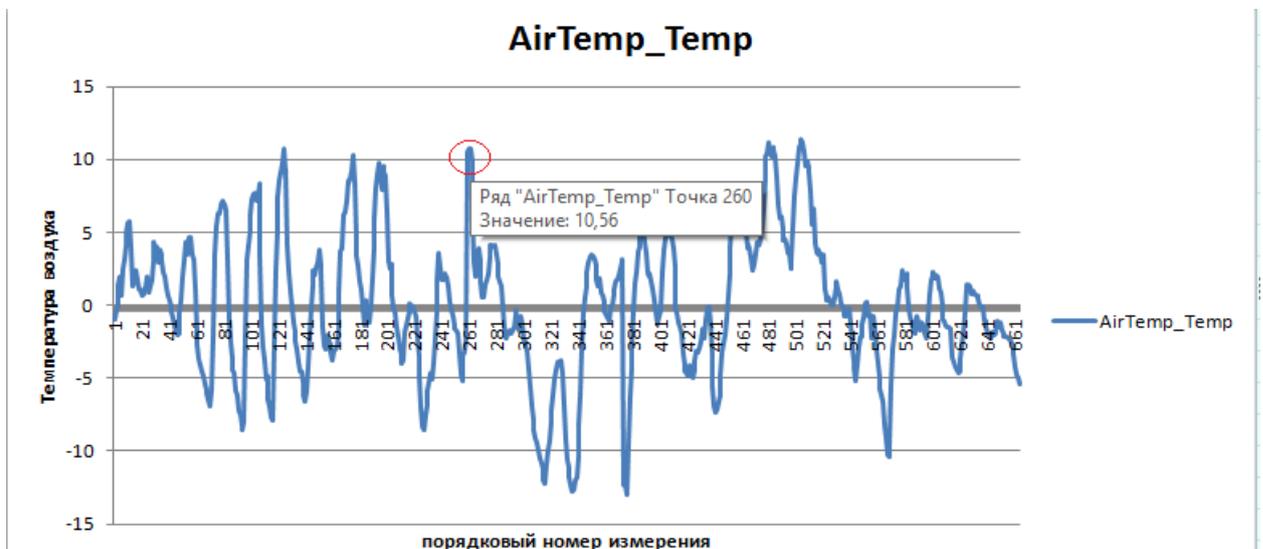


Рис.2.17 Определение порядкового номера «подозрительной» точки.

Второй этап анализа – построение графика данных, находящихся во второй колонке на листе 2 (рис. 2.18). По горизонтальной оси – порядковый номер измерения, по вертикальной оси – индикатор выброса (СКО). Численное значение  $P$  показывает, во сколько раз абсолютная разность последнего значения контрольного участка и следующего значения

превосходит величину СКО, вычисленного для этого контрольного участка. В колонке «М» и «N» на листе 2 можно посмотреть количество измерений, для которых величина Р превосходит значения 3,4,5 и 6 соответственно ( рис. 2.19).

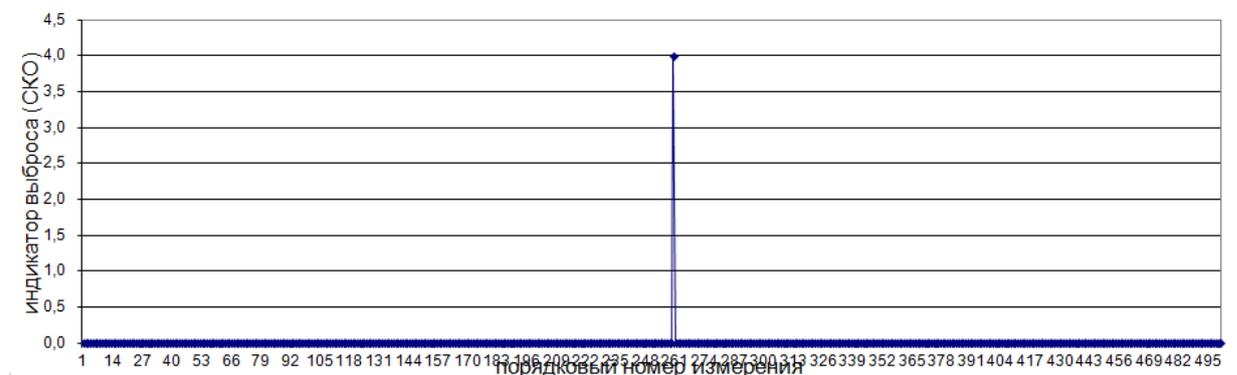


Рис. 2.18 График индикатора наличия «подозрительных» точек.

	М	N
Метод 1: колонка 2		
Число превышений 3*СКО		1
Число превышений 4*СКО		1
Число превышений 5*СКО		0
Число превышений 6*СКО		0

Рис. 2.19 данные контроля методом 1.

С учетом полученных данных анализируем поведение ряда в области выявленной точки с номером 260: анализируем имеющиеся в этой области значения ряда ( рис. 2.20) и строим по ним вспомогательный график ( рис. 2.21).

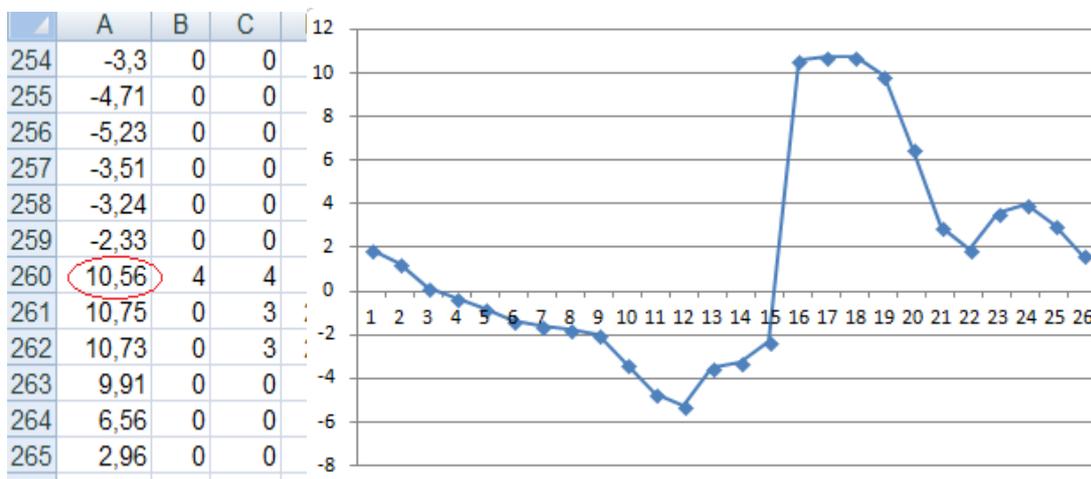


Рис 2.20 Числовые данные

Рис. 2.21 График

По этим данным, с учетом физического анализа – т.е. с учетом научных знаний об исследуемой величине (приземной температуре воздуха), измеряемой с дискретностью 1 час, мы делаем вывод, что в ряде присутствует «псевдовыброс», связанный с резким изменением температуры воздуха зафиксированной АМК.

Следовательно, по этим данным выбранный ряд можно считать однородным с  $n = 1$  по  $n = 259$  и с  $n = 261$  по  $n = 665$ .

Метод 2:

При использовании этого метода используются введенные ранее - длина «контрольного участка» временного ряда  $ndl$  и коэффициент КСКО.

Алгоритм:

Для участка временного ряда с номерами от  $n = 1$  до  $n = ndl$  рассчитываются: среднее значения  $sr$  и величина СКО.

Затем граничное значение этого контрольного участка ( $n=ndl+1$ ) сравнивается со средним для этого отрезка значением  $sr$  и по абсолютной величине их разности определяется, во сколько раз она превосходит среднее квадратическое отклонение (СКО): от 3 до 6 раз.

При этом, если вычисленное значение СКО оказывается в КСКО раз меньше СКО для всего ряда (от  $n = 1$  до  $n = N$ ), то сравнение абсолютных

разностей не производится - на контрольном участке изменчивость слишком мала и не может служить критерием наличия или отсутствия выброса.

Затем, границы контрольного участка сдвигаются на один шаг вперед, и процедура оценивания повторяется: рассматривается отрезок ряда от  $n = 2$  до  $n = ndl + 1$ .

Процесс проверки завершается, когда граничным значением для участка длиной  $ndl$  становится последний элемент ряда:  $n = N$ .

Анализ полученных с использованием метода 2 данных.

Для визуального контроля проверяемого временного ряда строим его график (рис.2.22).

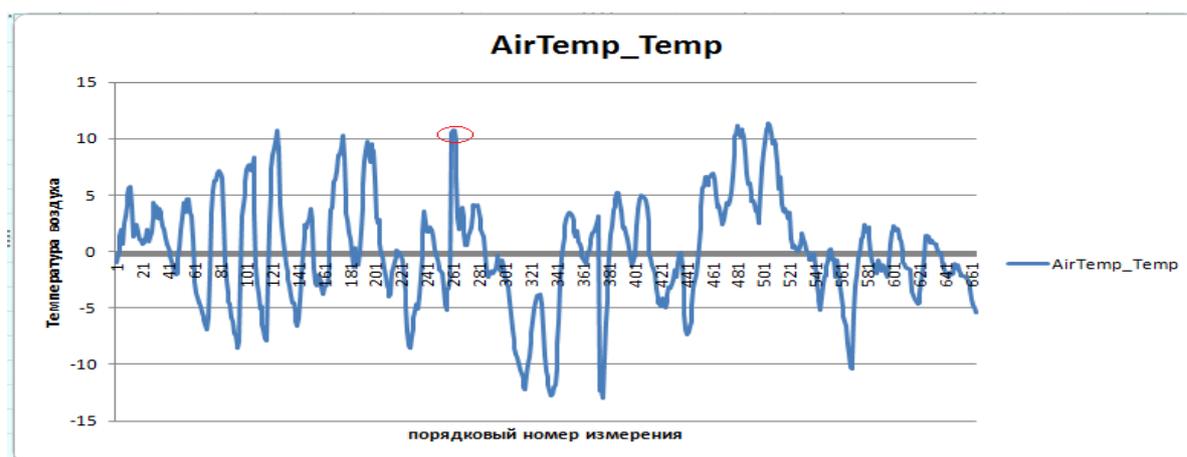


Рис. 2.22 График проверяемого временного ряда.

На графике виден «подозрительный» на наличие выбросов участок, этот участок отмечен красным овалом.

Следующий этап анализа – построение графика данных, содержащихся в колонке 3 на листе 2 (рис. 2.23). По горизонтальной оси – порядковый номер измерения, по вертикальной оси – индикатор выброса  $P$ . Численное значение  $P$  показывает, во сколько раз абсолютная разность последнего значения контрольного участка и следующего значения превосходит величину СКО, вычисленного для этого контрольного участка. В колонке «О» и «Р» на листе 2 можно посмотреть число измерений, для которых величина  $P$  превосходит значения 3,4,5 и 6 соответственно (рис. 2.24).

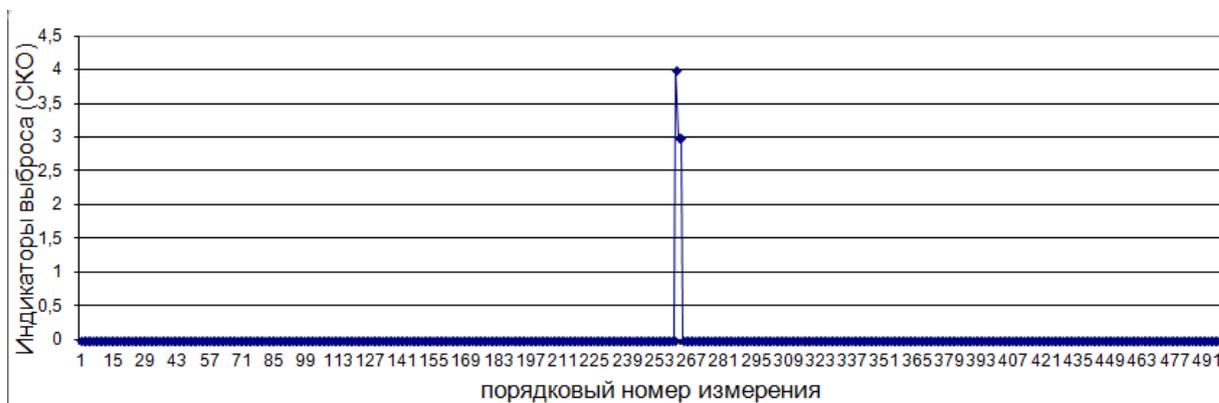


Рис. 2.23 График индикатора наличия «подозрительных» точек.

О	Р
Метод 2: колонка 3	1
Число превышений 3*СКО	5
Число превышений 4*СКО	1
Число превышений 5*СКО	0
Число превышений 6*СКО	0

Рис. 2.24 Результат контроля методом 2.

Заметно, что в отличие от метода 1, в данном случае выявлено больше точек, «подозрительных» на выброс. Для  $P = 4$ : 1 точка и для  $P = 3$ : 5 точек.

При этом следует учитывать, что при подсчете количества точек, например, для  $P = 3$ , учитывались точки с  $P = 3$  плюс количество точек с  $P = 4$ , плюс количество точек с  $P = 5$ , плюс количество точек с  $P = 6$ .

Из этого следует, что метод 2 более чувствителен к изменчивости временного ряда, т.к. выявил большее число «подозрительных» точек.

И напомним, что, как и для метода 1, окончательное решение о том, является ли то или иное определенное программой значение временного ряда выбросом остается за исследователем.

С учетом полученных данных анализируем поведение ряда в области выявленной точки с номером 260 (значение индикатора  $P = 3$ ), и в точке с номерами 261 (значение индикатора  $P = 4$ ). Для этого анализируем имеющиеся в этой области значения ряда (рис. 2.25) и строим

вспомогательный график имеющейся в этой области временной изменчивости ряда (рис. 2.26).

259	-2,33	0	0
260	10,56	4	4
261	10,75	0	3
262	10,73	0	3
263	9,91	0	0

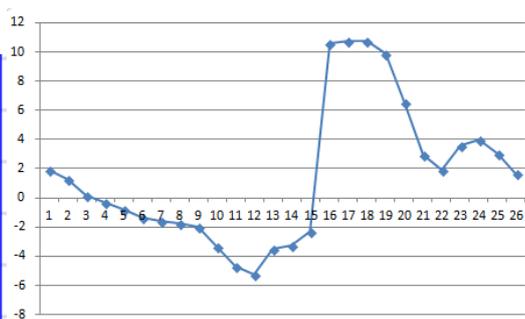


Рис. 2.25 Числовые данные

Рис. 2.26 График

По этим данным, с учетом физического анализа – т.е. с учетом научных знаний об исследуемой величине (приземной температуре воздуха), измеряемой с дискретностью 1 час, мы делаем вывод, что в ряде присутствует «псевдовыброс», связанный с резким изменением температуры воздуха зафиксированной АМК. Этот вывод совпадает с тем, который был получен при использовании метода 1. Но, т.к. в обоих случаях величина  $P$  не превосходит 6 и 5 можно считать, что выбросы ложны и в работе АМК сбоев не наблюдалось.

Метод 3.

Метод 1-3 сигм для контрольного участка (с использование среднего и СКО контрольного участка).

Вероятности того, что отклонение распределенной по нормальному закону непрерывной случайной величины  $X$ , от математического ожидания  $a$  по абсолютной величине (то есть по модулю) будет меньше  $\delta$ , определяется следующей формулой:

$$P(|X - a| < \delta) = 2\Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)$$

где  $a$  - математическое ожидание,  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение.

Табличные значения функции  $\Phi(x)$ :

$$\Phi(1) = 0.34134; \quad \Phi(2) = 0.47725; \quad \Phi(3) = 0.49865/$$

Следовательно, вероятность того, что случайная величина, имеющая нормальный закон распределения, отклонится от своего математического ожидания на величину, определяемую кратностью среднего квадратичного отклонения, равна:

$$\pm 1 \cdot \text{СКО} \Rightarrow \Phi(1) \cdot 2 = 68.3\%;$$

$$\pm 2 \cdot \text{СКО} \Rightarrow \Phi(2) \cdot 2 = 95.5\%$$

$$\pm 3 \cdot \text{СКО} \Rightarrow \Phi(3) \cdot 2 = 99.7\%$$

Откуда следует, что вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на большую величину, чем утроенное среднее квадратичное отклонение, практически равна нулю.

К сожалению, временные ряды метеорологических величин не имеют нормального распределения, хотя в ряде случаев близко к нему.

Тем не менее, для оценки выбросов можно воспользоваться оценками, основанными на использовании абсолютных отклонений значений временного ряда от среднего значения.

Предполагая, что с вероятностями, близкими к значениям 68%; 95% и 99% те значения временного ряда, которые отличаются от среднего значения  $S_{ndl}$  в 1, 2 или 3 раза от  $\text{СКО}_{ndl}$ , являются выбросами – т.е. не типичными значениями для рассматриваемой выборки протяженностью  $ndl$  отсчетов.

На таком предположении и основан третий из рассматриваемых методов выявления выбросов в исследуемом временном ряде.

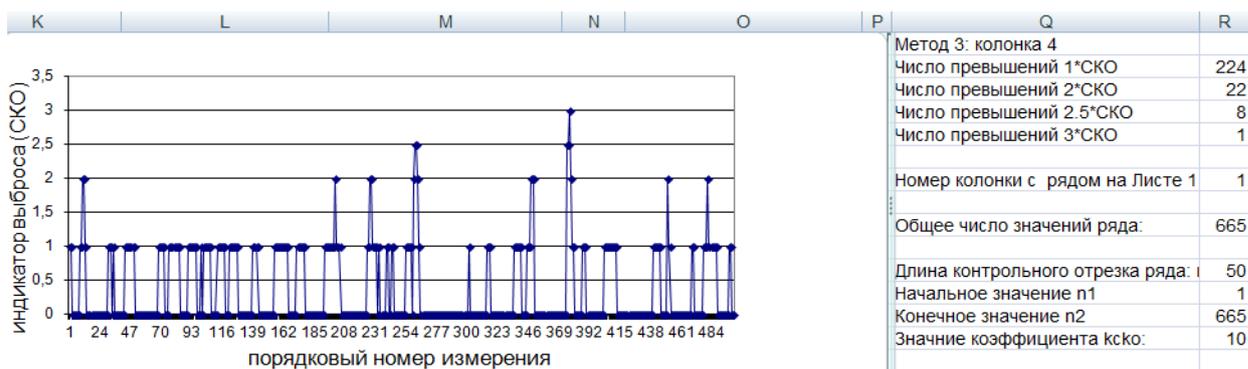


Рис.2.27 График индикатора наличия «подозрительных» точек и результат контроля методом 3.

В ходе исследования ряда методом 3 делаем вывод, что данный метод исследования более подробный, т.е. рассматривает число  $P$  на уровнях индикатора выброса 1; 2; 2,5; 3, что выявляет наибольшее число выбросов. На рисунке 2.28 виден «псевдовыброс» обнаруженный с помощью метода 3 в районе 375, 376, 377 значений выделенных красным овалом и значение  $P$ , здесь же построен график временной изменчивости ряда для этих значений.

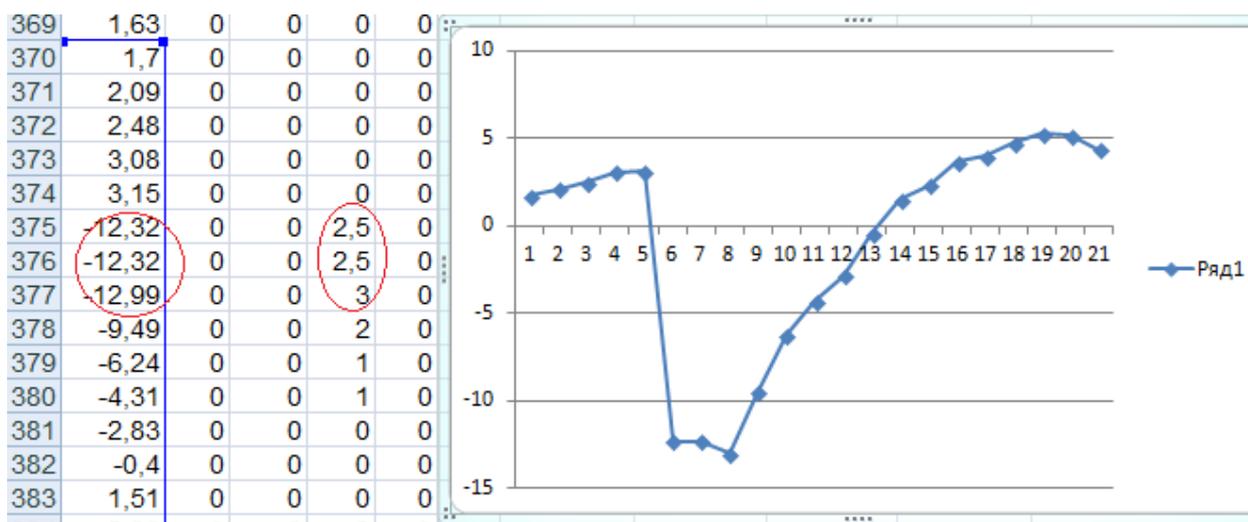


Рис. 2.28 Числовые данные и график

Но и 3 метод, как 1 и 2 метод показывает ложные «псевдовыбросы» т.к. число  $P$  не превышает значения индикатора выбросов 5 и 6, что снова доказывает стабильную работу АМК.

### Метод Ирвина.

Сравнение крайних значений вариационного ряда для контрольного участка с критерием Ирвина (с использованием СКО контрольного участка).

Для оценки элементов выборки на грубые ошибки (грубые погрешности) часто используют критерий Ирвина (иногда указывают, что критерий Ирвина



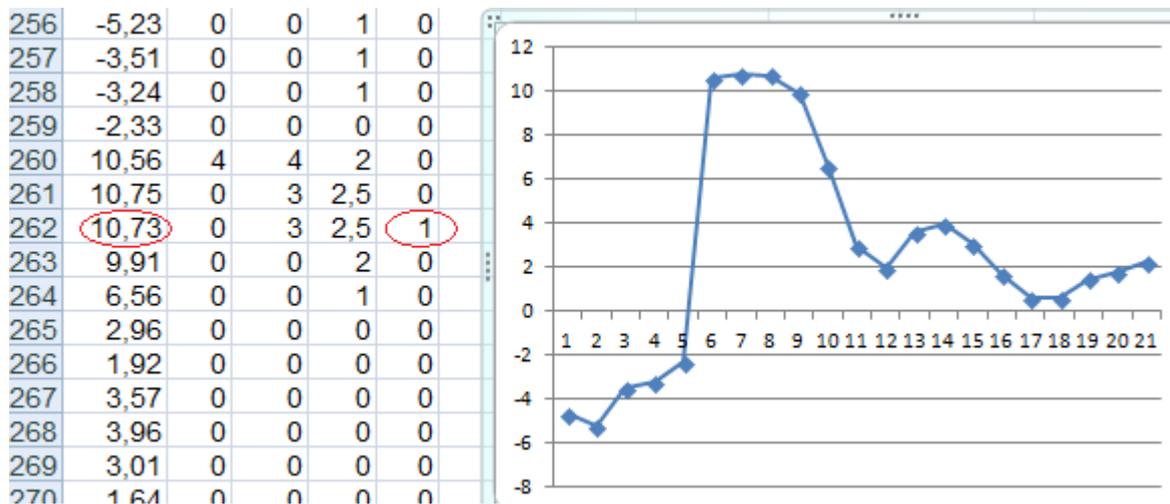


Рис. 2.30 Числовые данные и график

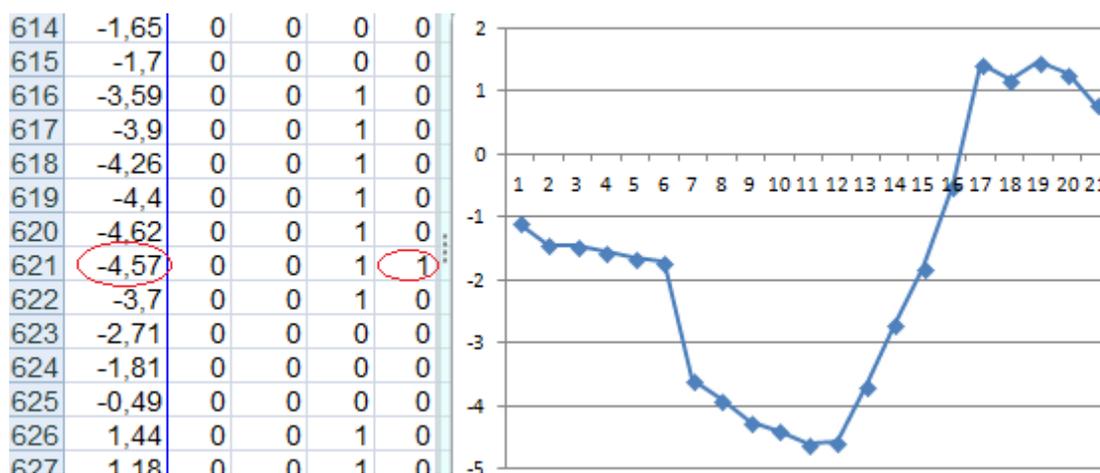


Рис.2.31 Числовые данные и график

В этом методе так – же как и в предыдущих трех методах значение  $P$  очень мало из чего следует сделать тот – же вывод: т.к. в обоих случаях величина  $P$  не превосходит 6 и 5 можно считать, что выбросы ложны и в работе АМК сбоев и разрывов не наблюдалось. Временной ряд температуры воздуха за апрель 2019 года является непрерывным, эквидистантным, постоянным.

Процесс проверки временных рядов в программе «Контроль 4М по отрезкам» продолжается до тех пор, пока не будут восстановлены и сглажены все пропуски и выбросы, выявленные данной программой.

С помощью «контроля 4М по отрезкам» проверяем временные ряды за январь, июль и сентябрь 2019года, восстанавливаем пропуски и если

требуется сглаживаем выбросы. Получаем временные ряды метеорологической величины (температура воздуха) по сезонам 2019 года, которые в дальнейшем подвергнем анализу временной изменчивости.

### **3. Анализ временной изменчивости рядов метеорологических величин.**

#### **3.1 Анализ временной изменчивости статистических характеристик временных рядов метеорологических величин за различные периоды времени.**

Для расчета статистических характеристик временных рядов используются показатели описательной статистики.

Все эти показатели легко можно получить с помощью пакета «Описательной статистики программы Excel».

Программа дает возможность рассчитать следующие статистические характеристики временного ряда:

- среднее значение,
- стандартную ошибку,
- медиану,
- моду,
- стандартное отклонение,
- дисперсию выборки,
- эксцесс, асимметрию,
- интервал,
- минимальное и максимальное значения,
- количество обработанных значений.

Проанализируем полученные временные ряды метеорологической величины (температура воздуха), пользуясь программой «Microsoft Excel», пакетом «Анализ данных» => вкладка «Описательная статистика» рисунок

3.1

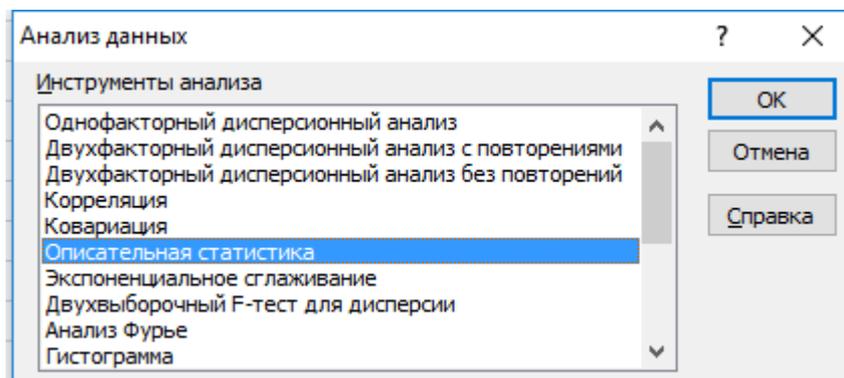


Рис. 3.1 Окно при активизации пакета «Анализ данных»

, в появившемся диалоговом окне вводим нужные нам параметры:

- входной интервал (столбец «А» - наш исследуемый ряд рисунок 3.2)

	А
1	-15,99
2	-17,18
3	-18,5
4	-20,1
5	-20,54
6	-19,06
7	-15,37
8	-14,51
9	-14,68
10	-15,46

Рис. 3.2 Фрагмент временного ряда

- выходной интервал (ячейка, в которую будут направлены результаты расчета);
- выбираем «Группирование по столбцам»;
- устанавливаем галочки напротив пунктов: «Итоговая статистика» рисунок 3.3;

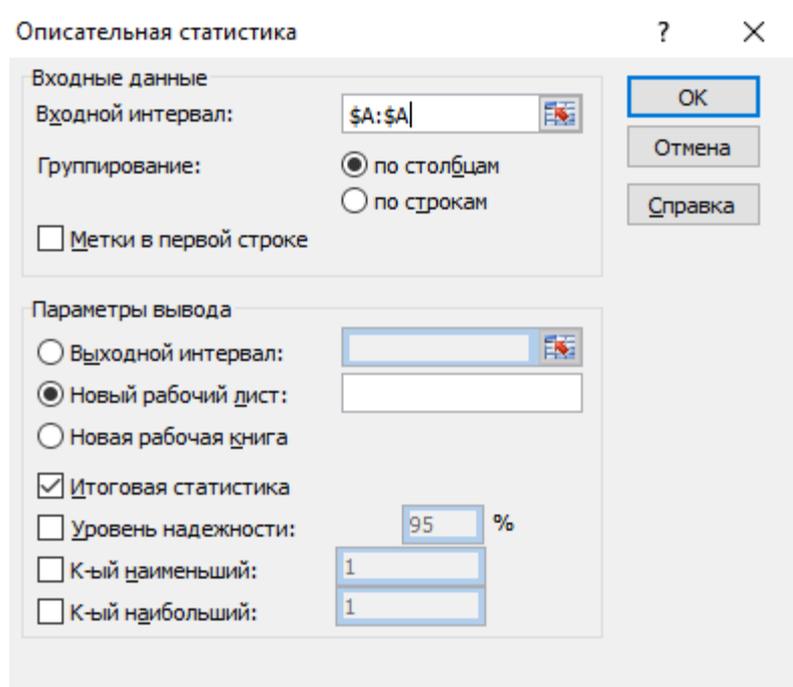


Рис. 3.3 Окно при активизации опции «Описательная статистика»

- нажимаем «ОК».

после работы программы получаем результаты расчета статистических характеристик для временного ряда температуры воздуха за январь 2019 года, рисунок 3.4.

<i>Столбец1</i>	
Среднее	-16,5779
Стандартная ошибка	0,29287
Медиана	-14,11
Мода	-10,36
Стандартное отклонение	8,009885
Дисперсия выборки	64,15826
Эксцесс	0,402509
Асимметричность	-0,959
Интервал	39,51
Минимум	-42,2
Максимум	-2,69
Сумма	-12400,3
Счет	748

Рис. 3.4 Статистические характеристики

Округляем полученные значения. Выделяем столбец со значениями, нажав правую кнопку мыши, и в появившемся списке выбираем «Формат ячеек». В открывшемся окне выбираем вкладку «Число», формат – «Числовой», вводим число десятичных знаков, необходимое для решения конкретной задачи (в нашем случае для температуры воздуха – 1).

Также были произведены расчёты и для апреля, июля и сентября 2019 года. Полученные результаты расчётов статистических характеристик представлены в таблице 3.5.

Табл. 3.5 Результаты расчетов статистических характеристик временных рядов температуры воздуха для четырех месяцев 2019 года.

<i>Столбец1</i>	январь	апрель	июль	сентябрь
Среднее	-16,58	0,09	18,65	8,27
Стандартная ошибка	0,29	0,19	0,17	0,20
Медиана	-14,11	-0,09	18,38	8,39
Мода	-10,36	1,10	17,24	6,02
Стандартное отклонение	8,01	4,86	4,77	5,38
Дисперсия выборки	64,16	23,65	22,77	28,94
Эксцесс	0,40	0,05	-0,53	-0,41
Асимметричность	-0,96	-0,07	0,01	0,24
Интервал	39,51	24,36	22,35	26,11
Минимум	-42,20	-12,99	6,66	-3,23
Максимум	-2,69	11,37	29,01	22,88
Сумма	-12400,28	59,68	14326,30	5964,28
Счет	748,00	665,00	768,00	721,00

Для дальнейшего исследования временных рядов из вышепредставленной таблицы нас интересуют два параметра – это максимумы и минимумы температуры воздуха.

Одной из основных идей в статистике является понятие функции плотности распределения (плотности вероятности). Функция распределения показывает соотношение между возможными значениями случайной величины и вероятностями их появления, рисунок 3.6.



Рис. 3.6 Три вида распределений

Эмпирической функция распределения (ЭФР), полученной опытным путем, называется функция распределения, рассчитанная по выборке из генеральной совокупности (в гидрометеорологии часто рассчитывается функция, называемая «повторяемость», которая, по сути, и есть ЭФР).

Для изображения эмпирической функции распределения (ЭФР) широко используется гистограмма.

Гистограмма – это столбчатая диаграмма, где по оси абсцисс откладываются значения интервалов, а частоты представлены прямоугольниками, построенными на соответствующих интервалах и имеющими высоту, пропорциональную частоте.

Для расчета гистограммы предварительно формируется несколько интервалов (карманов) изменчивости переменной в исследуемом временном ряду, а затем рассчитывается количество значений переменной, попадающих в каждый интервал (частота).

По гистограмме определяются моды как локальные максимумы ЭФР («вершины холмов»). Мод бывает одна или несколько. Соответственно, распределение является одномодальным или многомодальным. Моды характеризуют некоторые квазистационарные, т.е. наиболее устойчивые состояния.

Асимметрия характеризует симметричность эмпирической функции распределения (ЭФР) относительно среднего значения и рассчитывается по формуле:

$$As = \frac{1}{N\sigma^3} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3$$

Значение  $As = 0$  – при полной симметрии ЭФР относительно среднего значения.

Если  $As > 0$ , то ЭФР обладает положительным «хвостом» и основная масса наблюдений (а также медиана) меньше среднего значения (это означает, что преобладают данные с меньшими значениями по сравнению со средним арифметическим).

Если  $As < 0$ , то ЭФР обладает отрицательным «хвостом» и основная масса наблюдений (а также медиана) больше среднего значения (это означает, что преобладают данные с большими значениями).

Эксцесс ( $Ex$ ) характеризует относительную остроконечность или сглаженность распределения по сравнению с нормальным распределением и рассчитывается по формуле:

$$Ex = \left[ \frac{1}{N\sigma^4} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4 \right] - 3$$

Если  $Ex > 0$ , то ЭФР является островершинной и, как правило, у нее наблюдается два равнозначных хвоста.

Если  $Ex < 0$ , то ЭФР является плосковершинной и распределение стремится к случайному распределению.

Так же, как и для асимметрии, большие (больше единицы) значения эксцесса косвенно свидетельствуют о наличии в ряду «выбросов», которые могут быть ошибками наблюдения или наблюдаемыми катастрофическими эффектами.

Определение числа интервалов при построении гистограммы.

$N$	$k$
40–100	7–9
100–500	8–12
500–1000	10–16
1000–10000	12–22

Рис. 3.7 Рекомендация ВНИИ Метрологии для определения числа интервалов

Открываем файл с временным рядом в программе «Excel».

По одной из методик определяем оптимальное число карманов гистограммы.

В нашем случае исследуемый ряд составляет 748 значений, согласно таблицы рекомендованной ВНИИ Метеорологии (рис. 3.7.) выбираем число карманов равное 13.

В рассчитанных статистических характеристиках смотрим значения максимального и минимального значений метеовеличины, соответственно  $-2,69$  и  $-42,20^{\circ}\text{C}$ , округляем полученные значения до целого ( $-3$  и  $-42$ ) и разбиваем разность на заданное количество интервалов. Например, для температуры с промежутком в  $3^{\circ}\text{C}$ .

Вносим рассчитанные данные интервалов карманов в свободный столбец «В» рисунок 3.8.

	A	B
1	-15,99	-42
2	-17,18	-39
3	-18,5	-36
4	-20,1	-33
5	-20,54	-30
6	-19,06	-27
7	-15,37	-24
8	-14,51	-21
9	-14,68	-18
10	-15,46	-15
11	-15,75	-12
12	-16,06	-9
13	-16,58	-6
14	-16,7	-3

Рис. 3.8. Рассчитанные данные интервалов карманов

Выбираем в командной строке «Excel» «Сервис, Анализ данных». В открывшемся окне выбрать инструмент анализа – «Гистограмма», нажать ОК (рис. 3.9).

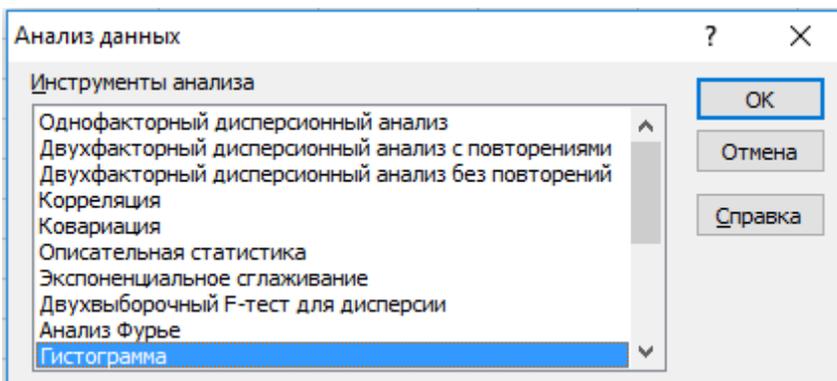


Рис. 3.9 Выбор инструмент анализа – «Гистограмма»

В открывшемся окне вводим входной интервал – все значения выборки исследуемой метеорологической величины, аналогичным образом в ячейку «Интервал карманов» вводим границы записанных данных. В пункте «Выходной интервал» указываем ячейку, у которой будет построена таблица распределения частот. В этом же окне ставим галочку «Вывод графика» и нажимаем ОК (рис. 3.10).

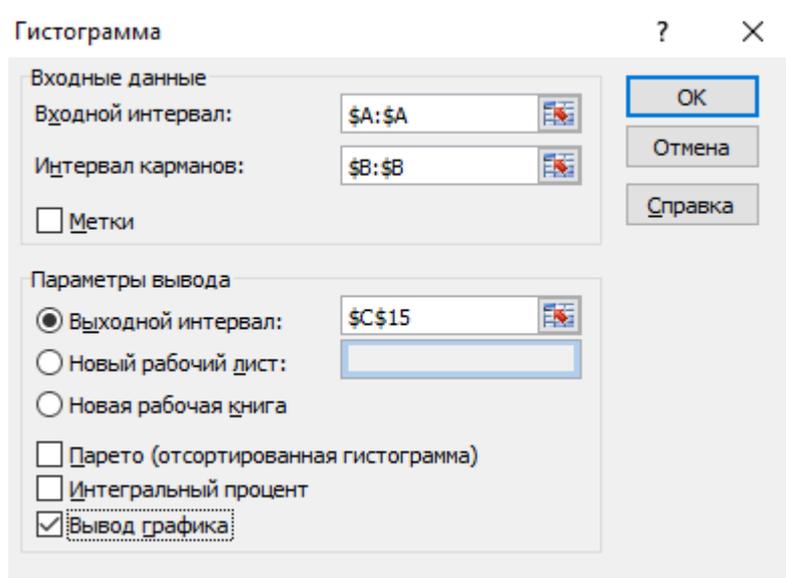


Рис. 3.10. Пример заполнения таблицы

В результате проделанной работы в документе появится построенная гистограмма (рис. 3.11).

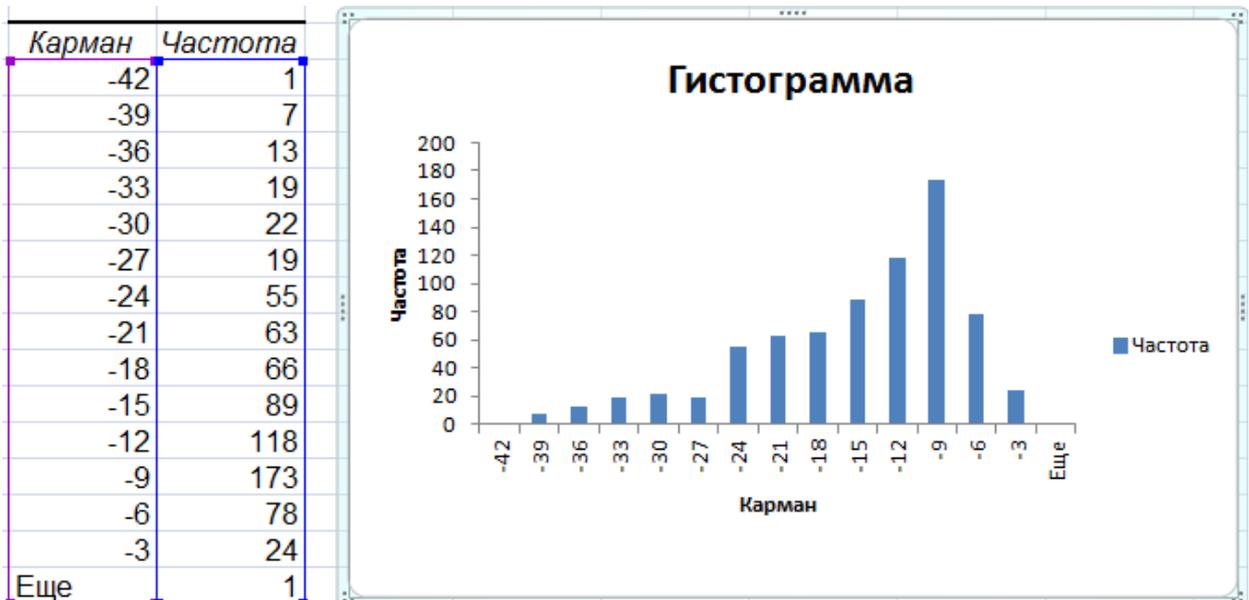


Рис. 3.11. гистограмма распределения температуры воздуха в январе 2019 года.



Рис. 3.12. готовая гистограмма распределения временного ряда температуры воздуха в январе 2019 года полученного от АМК.

Построим гистограммы для температуры воздуха оставшихся трех месяцев:

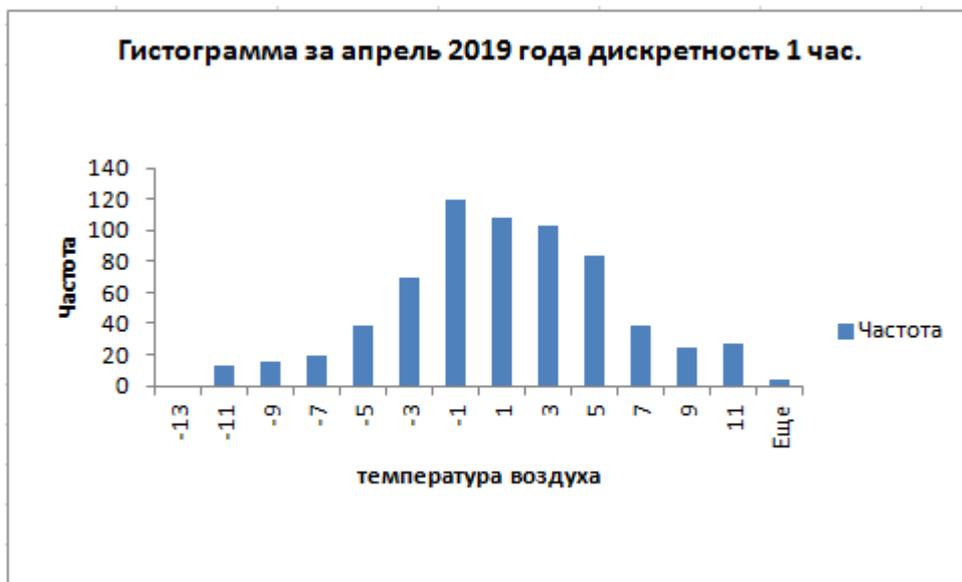


Рис. 3.13. Гистограмма распределения временного ряда температуры воздуха в апреле 2019 года полученного от АМК.

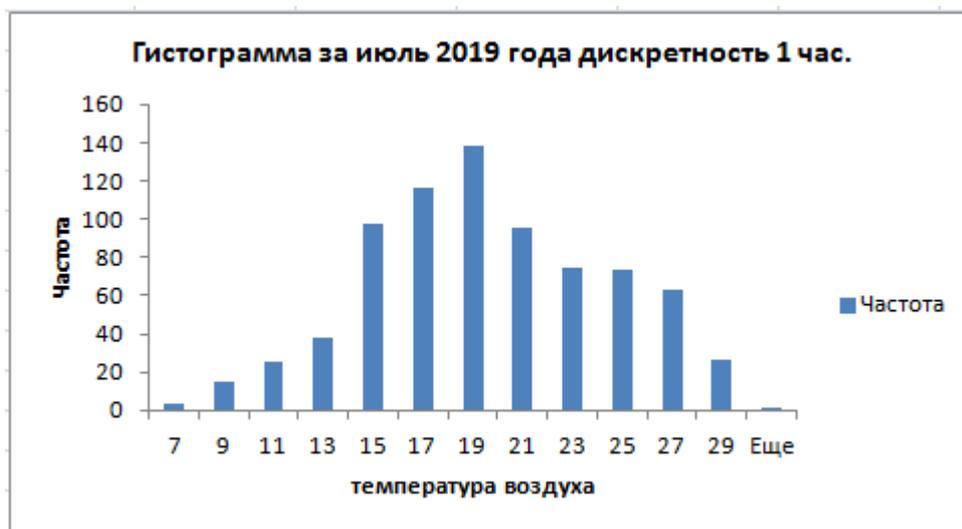


Рис. 3.14. Гистограмма распределения временного ряда температуры воздуха в июле 2019 года полученного от АМК.

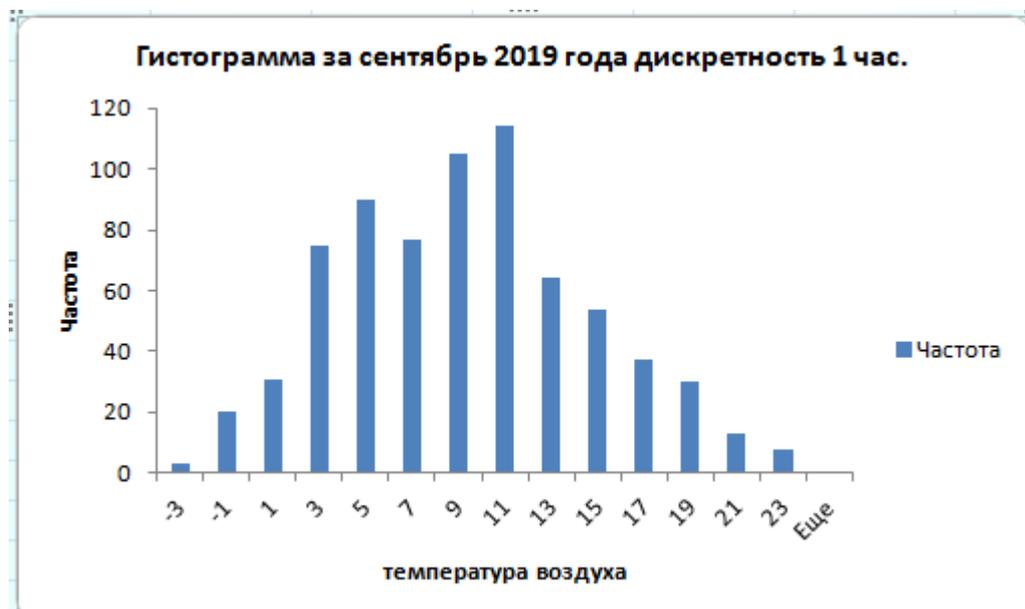


Рис. 3.15. Гистограмма распределения временного ряда температуры воздуха в сентябре 2019 года полученного от АМК.

Для удобства анализа объединим гистограммы, рисунок 3.16.

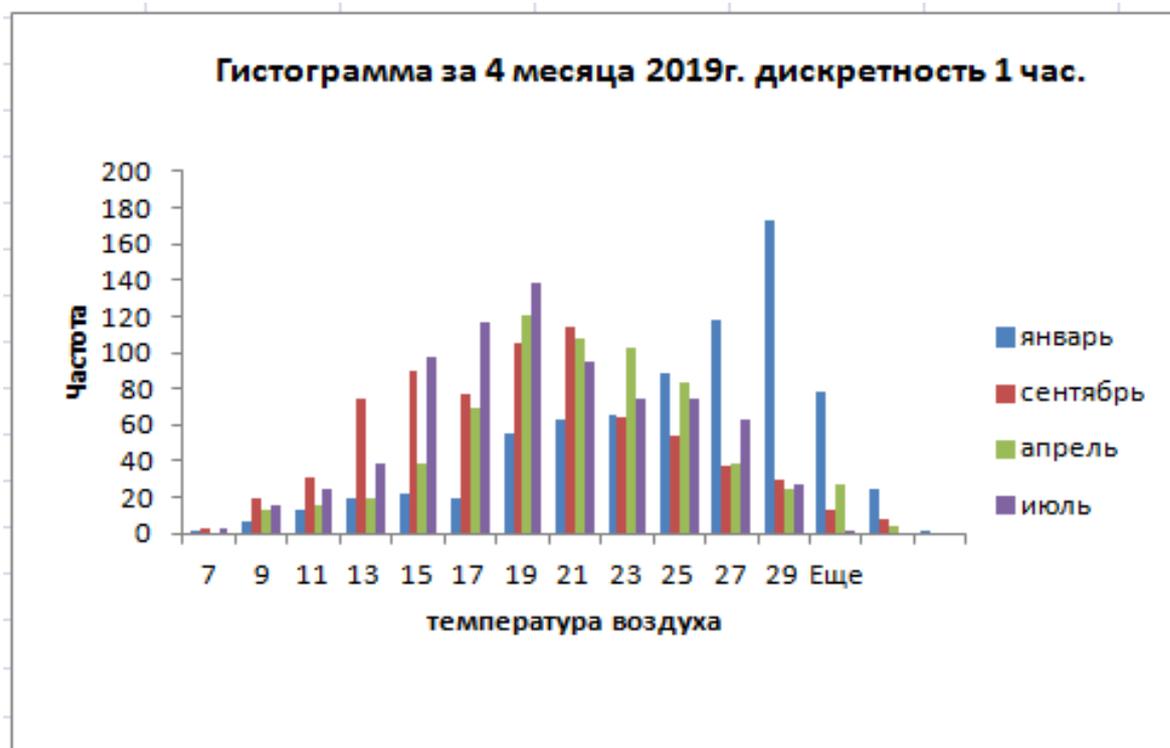


Рис.3.16. Объединенная гистограмма

Из полученных гистограмм видно, что распределение величин является одномодальным, т.е. близким к нормальному, так - же отметим, что

у температуры воздуха в январе более островершинное распределение, значение эксцесса положительное как и у остальных месяцев. ЭФР обладает в январе отрицательным «хвостом» (значение асимметрии отрицательное), основная масса наблюдений (а также медиана) больше среднего значения (это означает, что преобладают данные с большими значениями). В июле, апреле и сентябре ЭФР симметричен.

### 3.2. Анализ изменчивости временных трендов и спектральных характеристик временных рядов.

Тренд отражает наличие во временной изменчивости исследуемой характеристики длиннопериодного колебания с периодом, существенно превышающим длину выборки.

Найти временной тренд - значит задать вид функции и определить её параметры по имеющимся значениям выборки исследуемого временного ряда. Для этого построим графики временных рядов, нанесём на них линии, уравнения и коэффициенты детерминации глобальных и локальных временных трендов (рис. 3.17- 3.24).

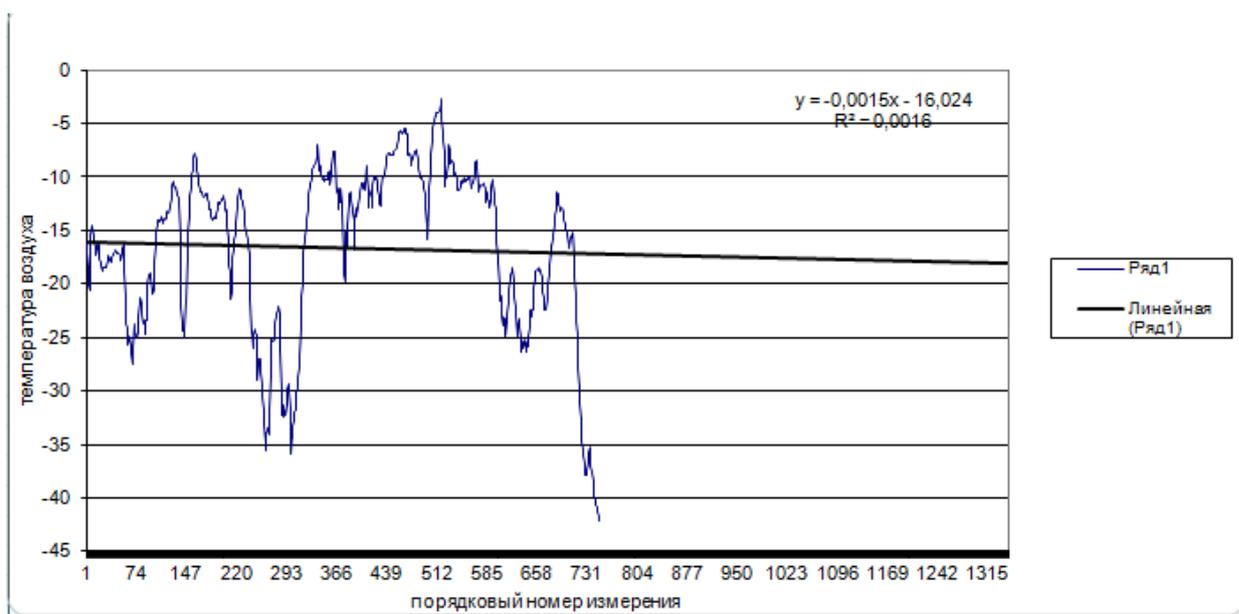


Рис. 3 17. График временного ряда за январь 2019 года. (глобальный)

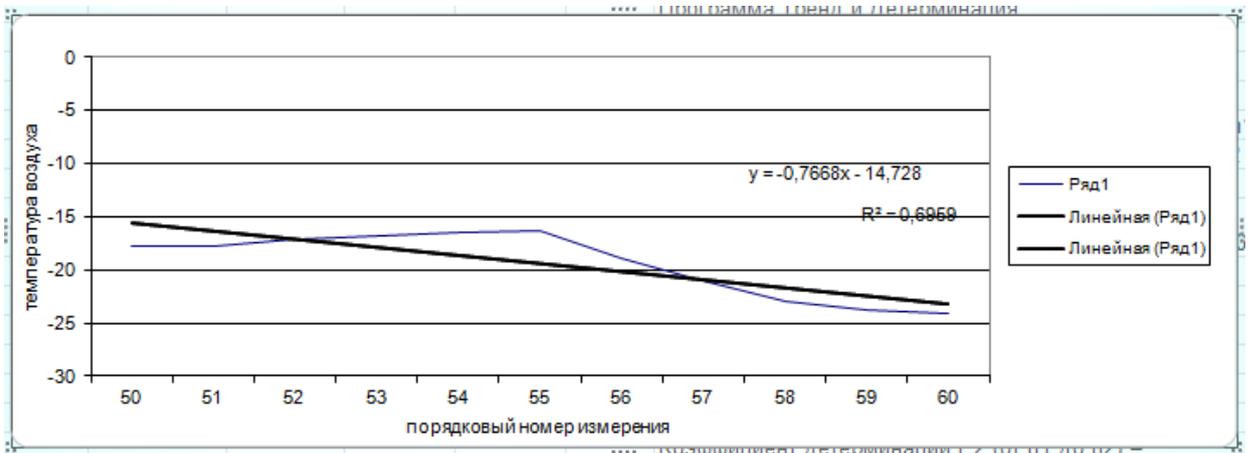


Рис. 3 18. График временного ряда за январь 2019 года. (локальный)

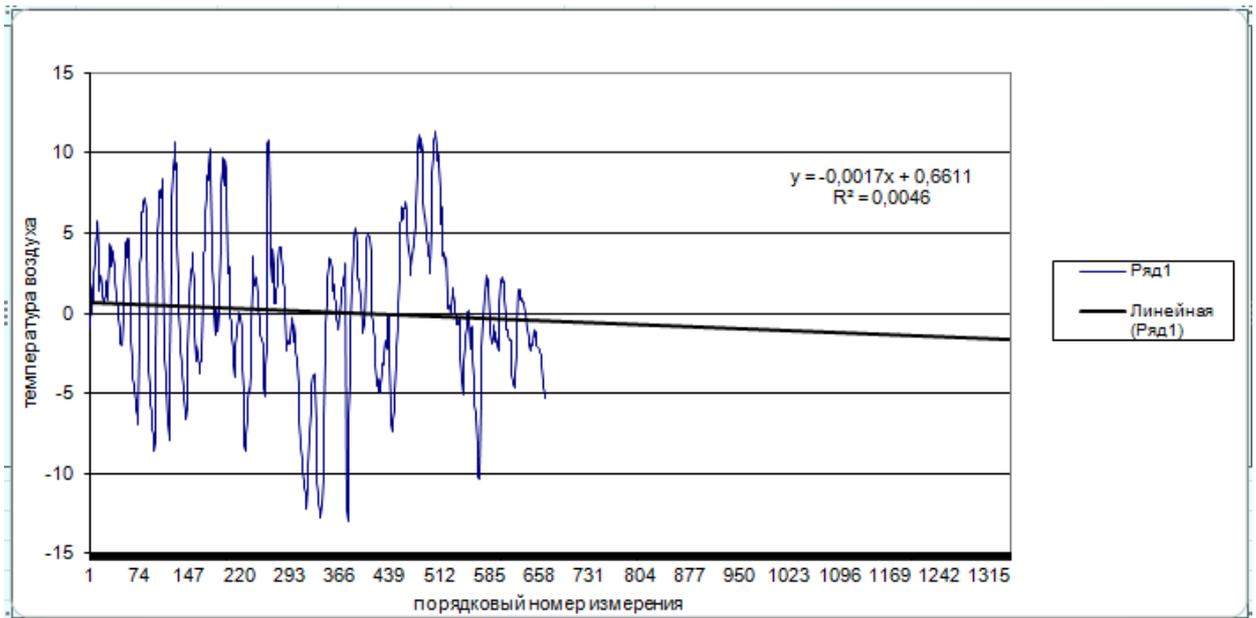


Рис. 3 19. График временного ряда за апрель 2019 года. (глобальный)

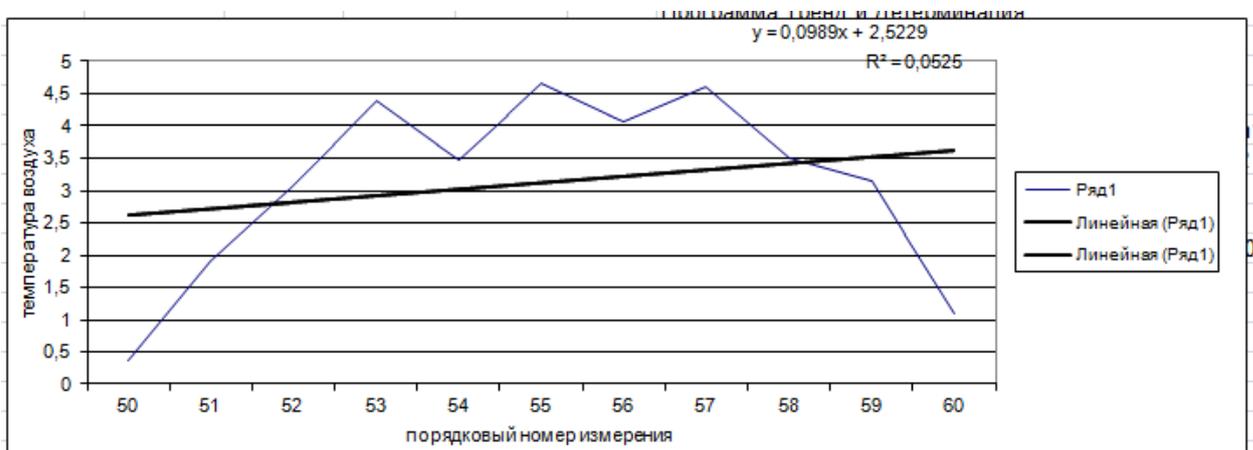


Рис. 3 20. График временного ряда за апрель 2019 года. (локальный)

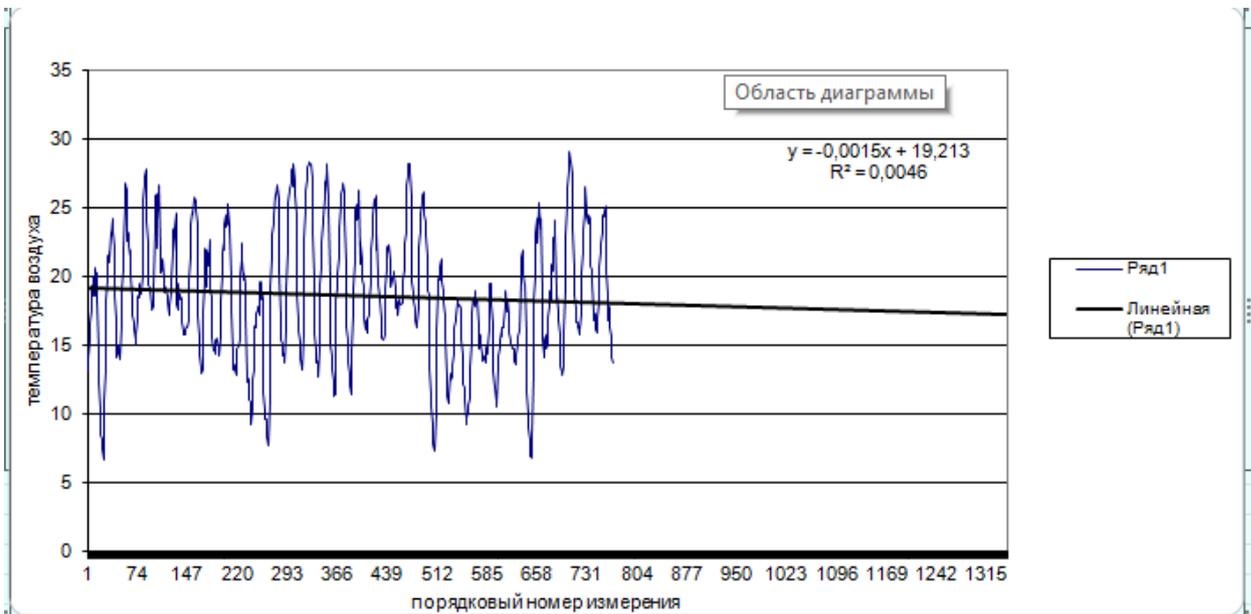


Рис. 3 21. График временного ряда за июль 2019 года. (глобальный)

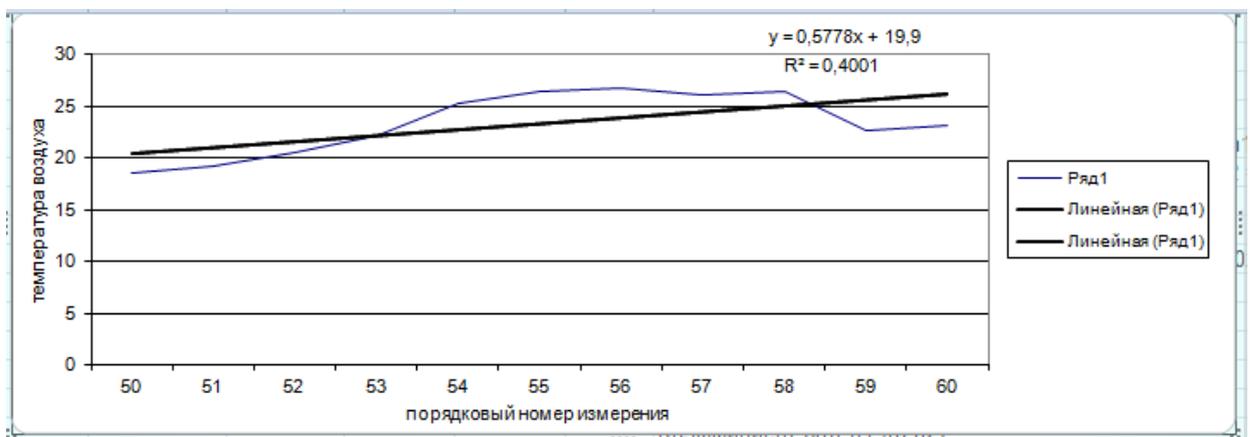


Рис. 3 22. График временного ряда за июль 2019 года. (локальный)

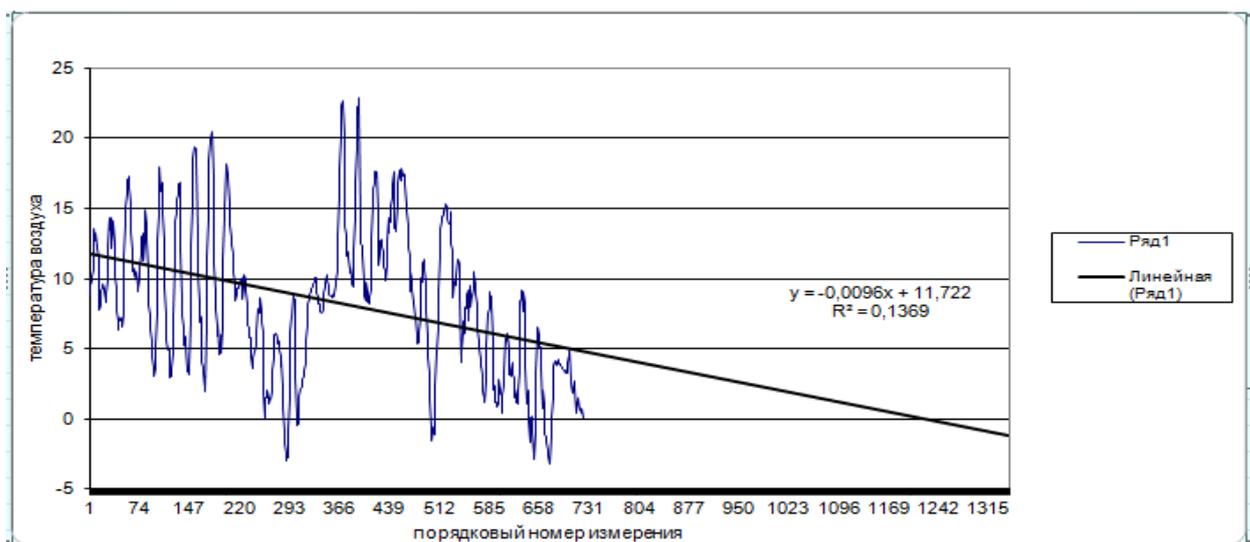


Рис. 3.23. График временного ряда за сентябрь 2019 года. (глобальный)

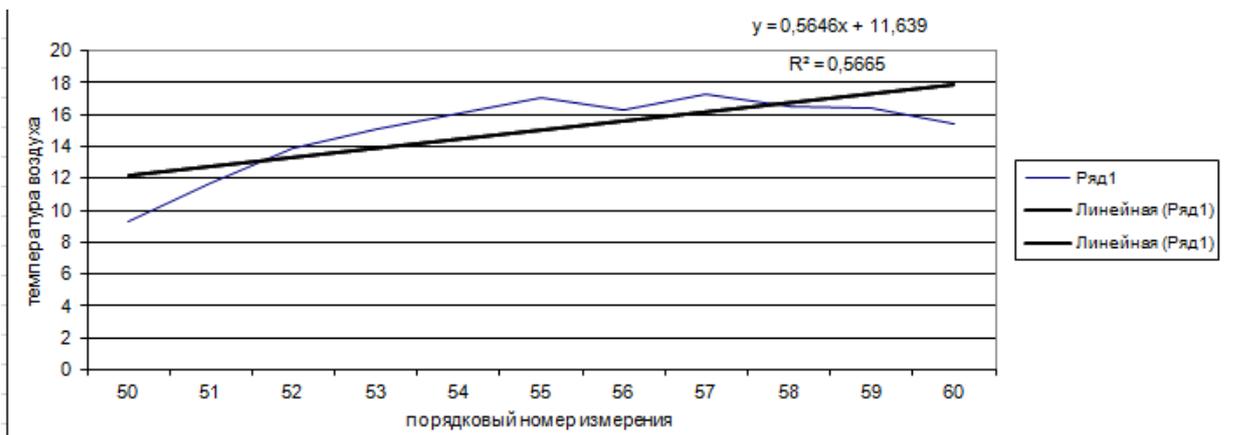


Рис. 3.24. График временного ряда за сентябрь 2019 года. (локальный)

Достаточно легко определить временной тренд, если члены временного ряда монотонно изменяются во времени (значения временного ряда устойчиво возрастают или устойчиво убывают). В этом случае наличие тренда часто хорошо видно на графиках.

Коэффициент детерминации  $R^2$  позволяет оценить качество аппроксимации табличных данных выбранным видом временного тренда, а величина  $(1 - R^2)$  характеризует долю необъяснённой временным трендом дисперсии (дисперсию случайной ошибки модели временного тренда).

Термин  $R^2$  кроме коэффициента детерминации также носит следующие названия: достоверность аппроксимации, квадрат смешанной корреляции.

В зависимости от уровня коэффициента детерминации, принято разделять модели на три группы:

- 0,8 – 1 — модель хорошего качества;
- 0,5 – 0,8 — модель приемлемого качества;
- 0 – 0,5 — модель плохого качества.

В последнем случае качество модели говорит о невозможности её использования для прогноза.

Основная проблема применения  $R^2$  заключается в том, что его значение увеличивается (*не* уменьшается) от добавления в модель новых переменных (в нашем случае – при повышении степени аппроксимирующего полинома), даже если эти переменные никакого отношения к объясняемой переменной не имеют!

Поэтому сравнение моделей с разным количеством факторов с помощью коэффициента детерминации, вообще говоря, некорректно.

Как мы видим из рис. 3.17- 3.24, ни глобальный, ни локальный тренд не несут существенный вклад в описание изменчивости исследуемых временных процессов, т.е. вклад тренда в общую дисперсию временного ряда

в основной массе незначителен. Об этом также свидетельствуют малые значения коэффициентов детерминации:

- для локального:

$$R^2 = 0,6969; R^2 = 0,0525; R^2 = 0,4001; R^2 = 0,5665$$

- для глобального:

$$R^2 = 0,0016; R^2 = 0,0046; R^2 = 0,0046; R^2 = 0,1369.$$

Это объясняется тем, что данные временные ряды обладают цикличностью, связанной с временным ходом рассматриваемых температур.

Будем считать, что задача выделения временного тренда уже решена и теперь необходимо исследовать оставшуюся часть временного ряда на наличие периодических составляющих.

Классический подход к решению этой задачи – разложение временного ряда в ряд Фурье.

Проведем последовательный спектральный анализ с помощью программы «ФурьеПоследЦикл-б» в пакете «Excel». В данной программе мы вставляем исследуемый ряд температуры на лист 1, запускаем макрос. В появляющихся диалоговых окнах вводим запрашиваемые параметры:

- номер колонки с данными => 2;
- количество членов временных рядов N => 748;
- номер начального отсчета IS => 1;
- номер конечного отсчета IF => 748;
- дискретность временного ряда - шаг по времени (час: 15 мин = 0.25 час) => 0.08;
- максимальный период (час) => 48;
- минимальный период (час) => 1;
- шаг изменения периода (час) => 1;
- для исключения линейного тренда введите 1, нет - введите 0 => 1.

Результат работы программы выводится на листе 2 (рис. 3.25).

1	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	К	Л	М	Н	О	Р
2	АМПЛИТУДА	Номер	ПЕРИОД	АМПЛИТУДА (град)				СОРТИРОВК	ПО ВОЗРАС	АМПЛИТУДУ	СПЕКТРАЛЬ	РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРС	
3	ПРИ РЕШЕТ	спектрально	СПЕКТРАЛЬ	ПРИ РЕШЕТЧАТОМ ИЗМЕНЕНИИ				Номер	ПЕРИОД	АМПЛИТУДА	ФАЗА	Ка ф е д р а ЭКСПЕРИМЕН	
4			(час)	ВРЕМЕННОГО РЯДА					(час)	(град)		ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СГ	
4	14466,17	1	1	-92,84					1	1	-92,84	Профессор А.Д.Кузнецов	
5	20655,83	2	2	-29,01					12	12	0,65	Версия от 01.02.2016	
6	10401,62	3	3	-44,74			Номер коло	2	24	24	0,32		
7	23583,16	4	4	0,01	55,09		Количество	748	25	25	0,13		
8	22246,25	5	5	0	34,11		НОМЕР НАЧ	1	23	23	0,08		
9	2319390,08	6	6	1	-7,45		НОМЕР КОН	748	26	26	0,07		
10	25020,06	7	7	0,01	-33,9		ДИСКРЕТНО	0,1	13	13	0,05		
11	47347,14	8	8	0,02	12,63		МАКСИМАЛЬ	1	28	28	0,05		
12	33601,81	9	9	0,01	21,17		МИНИМАЛЬ	1	22	22	0,04		
13	30434,38	10	10	0,01	-49,5		ШАГ ИЗМЕНЕ	1	32	32	0,03		
14	89602,38	11	11	0,03	30,18		Для исключе	1	11	11	0,03		
15	1523212,16	12	12	0,65	-4,67				30	30	0,03		
16	138248,54	13	13	0,05	59,67				33	33	0,02		
17	15681,93	14	14	0	-62,65				21	21	0,02		
18	5447,93	15	15	0	-84,82				35	35	0,02		
19	35076,37	16	16	0,01	68,22				20	20	0,02		
20	44675,84	17	17	0,01	-54,79				8	8	0,02		
21	33743,39	18	18	0,01	61,1		Коэффициен	-16,0241	27	27	0,01		
22	19053,39	19	19	0	-15,27		Коэффициен	-0,0015	17	17	0,01		
23	54158,71	20	20	0,02	80,79				36	36	0,01		
24	66809,04	21	21	0,02	84,09				29	29	0,01		
25	110325,94	22	22	0,04	-72,54				16	16	0,01		
26	206637,85	23	23	0,08	-32,91				31	31	0,01		
27	757313,94	24	24	0,32	-4,72				34	34	0,01		
28	315119,19	25	25	0,13	61,49				18	18	0,01		
29	173777,16	26	26	0,07	-71,52				9	9	0,01		
30	46170,71	27	27	0,01	60,88				10	10	0,01		

Рис. 3.25. Общий вид листа 2 после работы программы.

Итогом работы программы является гистограмма амплитуд, рисунок 3. 26.

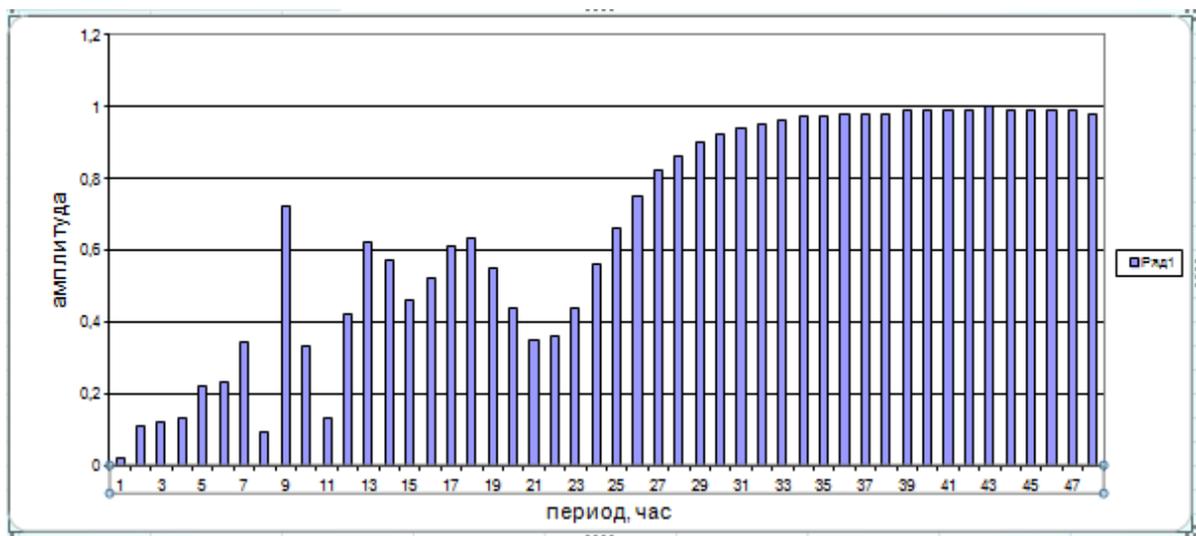


Рис. 3.26. Спектральное распределение ряда температуры воздуха за январь 2019г. Полученного от АМК.

Таким способом проводим спектральный анализ для оставшихся рядов за апрель, июль и сентябрь 2019г. (рис. 3.27-3.29).

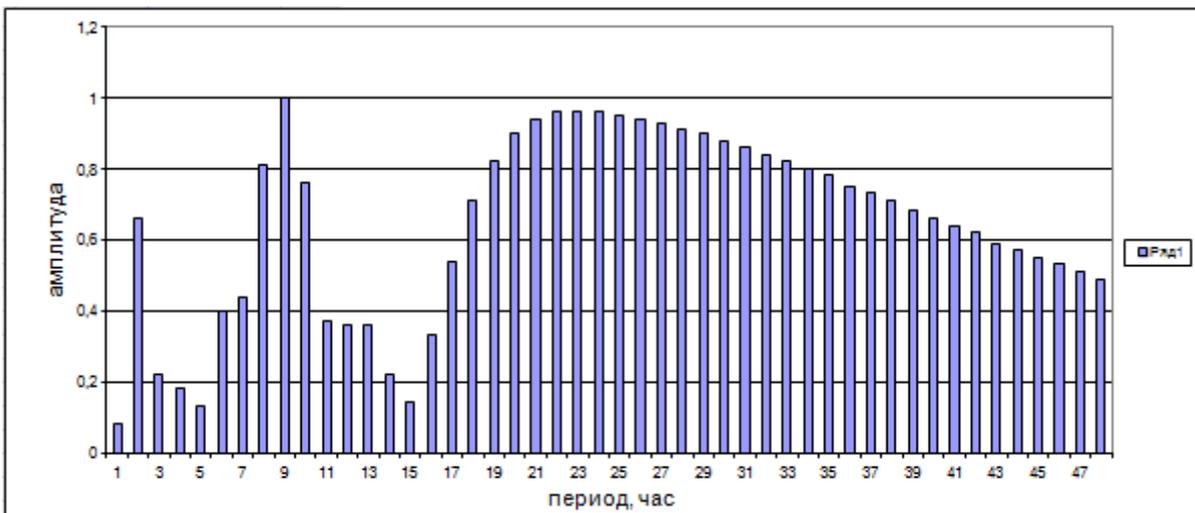


Рис. 3.27. Спектральное распределение ряда температуры воздуха за апрель 2019г. Полученного от АМК.

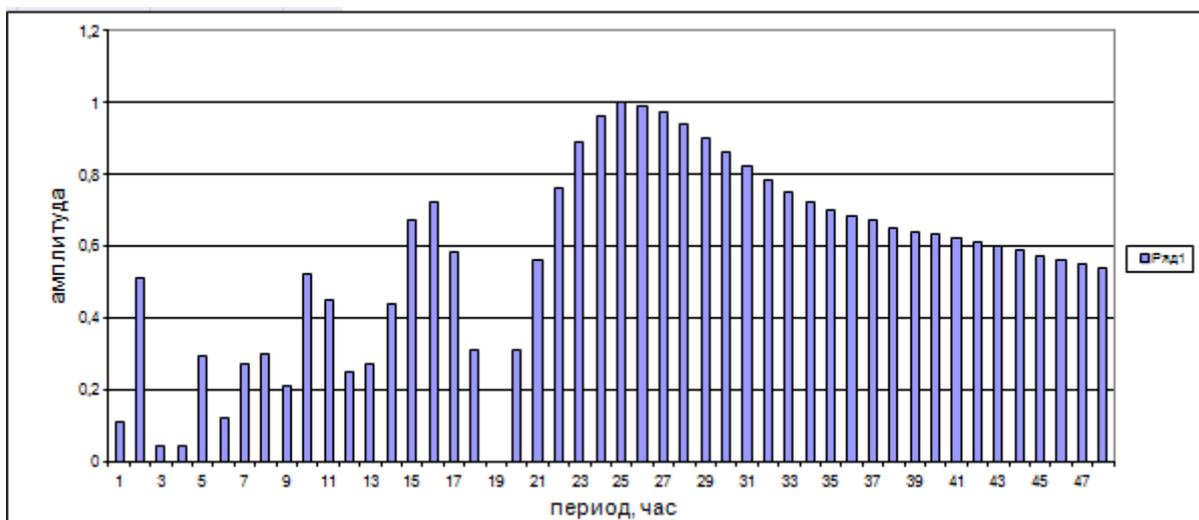


Рис. 3.28. Спектральное распределение ряда температуры воздуха за июль 2019г. Полученного от АМК.

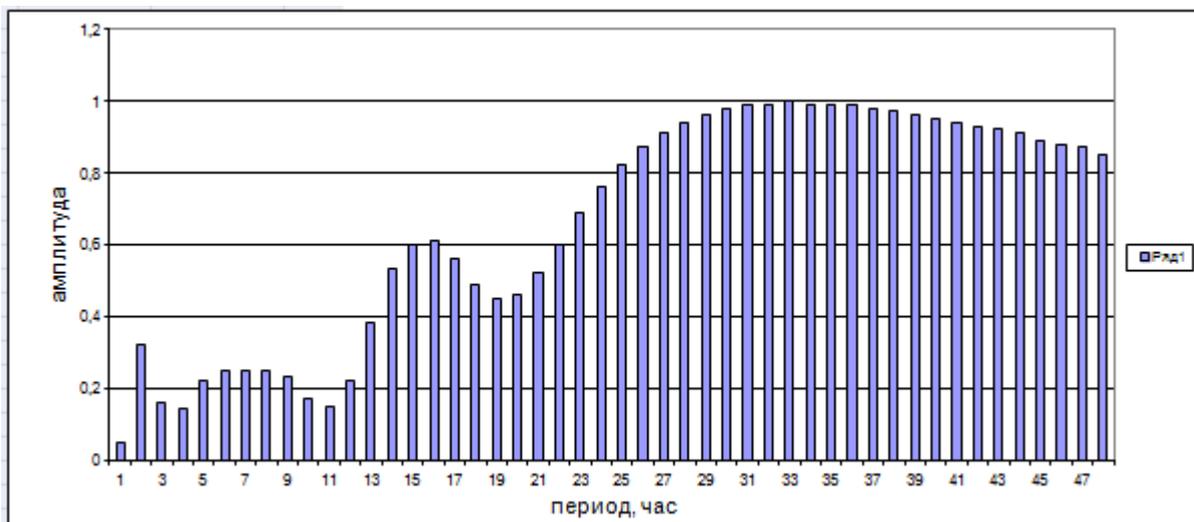


Рис. 3.29. Спектральное распределение ряда температуры воздуха за сентябрь 2019г. Полученного от АМК.

Проанализировав гистограммы, можно сделать вывод, что основной гармоникой января 2019г. является период 43 часа, апреля – 9 часов, июля – 25 часов, сентября – 33 часа, что говорит о разном суточном ходе температур в разные сезоны года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы изучены принципы работы автоматической метеорологической станций, а особое внимание уделено работе станции в разные сезоны года. Т.к. станция является специализированной, была рассмотрена её специфика, назначение и тактико-технические характеристики.

Конкретно для данного исследования была выбрана АМК, расположенная в селе Парабель, Томской области.

По полученному со станции архиву измерений выполнена основная часть работы – их анализ.

В первую очередь, временные ряды подлежали контролю качества, были обнаружены разрывы и выбросы, после чего произведено их устранение.

Далее были рассчитаны показатели описательной статистики, по их значениям определено, что некоторые ряды являются стационарными, а некоторые не являются таковыми.

Затем были построены гистограммы временных рядов для оценки эмпирической функции распределения. Обнаружено, что распределение является близким к нормальному, т.е. основная масса наблюдений меньше среднего значения.

В ходе определения параметров временного тренда выявилось, что он недостаточно хорошо описывает временные ряды по причине их цикличности.

Последним этапом исследования стал спектральный анализ, который показал, что основными гармониками четырех сезонов года являются разные периоды, соответствующие суточному ходу этих сезонов.

Таким образом, проанализировав измерения, полученные от АМК, можно сказать, что данная станция имеет целесообразную установку на данном участке. А также несёт существенный вклад в систему

прогнозирования, в обеспечения народного хозяйства, в решения вопросов безопасности населения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 1. Тактико-технические характеристики. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 195 с.
2. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 2. Цифровая обработка данных автоматических метеорологических станций. Учебное пособие. Санкт-Петербург, РГГМУ, 2015. – 80 с.
3. Кривонос Б.М., Книга десятая. Штрихи истории в воспоминаниях пережитого. Новосибирск 2002. – 471с.
4. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник,- СПб.: изд. РГГМУ, 2008. - 408 с.
5. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации» - СПб.: РГГМУ, 2010. - 74 с.
6. Дробжева Я.В., Волобуева О.В. Метеорологические прогнозы и их экономическая полезность. [Текст]: учебное пособие /Дробжева, Волобуева. – СПб.: Адмирал, 2016. – 116 с.
7. Л. П. Афиногенов, Т. М. Гольцман, с. И. Грушин, С. И. Зачек, В. Е. Карпуша, Р. А. Круглов, С. М. Персии, И. Г. Протопопов, Е. В. Романов, М. С. Стернзат. Автоматические метеорологические станции и устройства. Труды выпуск 216. Гидрометеорологическое издательство Ленинград, 1967