



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

Кафедра метеорологии климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Исследование климатического режима Республики Тыва»

Исполнитель Оруйгу Чойгана Эдуардовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.о. Заведующего
кафедрой

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«20» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Список сокращений и аббревиатур	2
Введение	3
1. Физико-географическое и климатическое описание Республики Тыва.....	5
1.1. Физико-географическое описание Республики Тыва.....	5
1.2. Рельеф местности Республики Тыва.....	7
1.3. Климатическое описание Республики Тыва	12
2. Метеорологическая измерительная сеть Республики Тыва.....	15
2.1 Метеорологические станции и их географическое положение	15
3. Формирование архива данных о климатообразующих факторах Республики Тыва.....	17
3.1. Формирование архива данных метеорологических станций Республики Тыва	17
3.2. Приведение архива данных к единой сетке по времени проведения наблюдений, заполнение пропусков.....	20
3.3. Статистический анализ многолетних значений метеорологических величин.....	26
Заключение	41
Список используемых источников.....	43

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И АББРЕВИАТУР

- МГЭИК - Межправительственная Группа Экспертов по Изменению Климата
- ВМО - Всемирная метеорологическая организация
- СЗ - Северо-Запад
- С - Север
- СВ - Северо-Восток
- ЮВ - Юго-Восток
- Ю - Юг
- ЮЗ - Юго-Запад
- З - Запад
- УМ - Уровень моря
- МНК - Метод Наименьших Квадратов
- UTC - Всемирное координированное время
- РСФСР - Российская Советская Федеративная Социалистическая Республика
- ЦГМС - Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
- УГМС - Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

Введение

Под понятием климата понимают многолетний, повторяющийся режим погоды, характерный для определенной местности. Он влияет на рельеф местности, водоемы, растительный и животный мир и др. Основными показателями климата являются: температура воздуха (средняя годовая, месячная), преобладающее направление ветров, годовое количество осадков.

Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО), классическим периодом для климата принято считать тридцать лет. Формируется климат под влиянием физико-географических, а также астрономических факторов. Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории России с 1976 по 2019 гг. составила по данным Института глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля (ФГБУ «ИГКЭ») $0.47^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Глобальное изменение климата земного шара является одной из самых главных проблем человечества, темпы которого намного превышают глобальное среднее. Об этом свидетельствует быстрое уменьшение ледового покрова Арктики, рост толщины талого слоя вечной мерзлоты и другие факторы.

Проблема климатических изменений интенсивно разрабатывается во всем мире при координации Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). ВМО регулярно выпускает доклады о последствиях изменения климата, уязвимости и адаптации к этим изменениям.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование климатического режима Республики Тыва. Для достижения данной цели обязательно требуется решить следующие задачи:

- 1) Формирование региональной базы данных многолетних рядов наблюдений за температурой воздуха, осадками на метеорологических станциях Республики Тыва за период с 1963 по 2022гг.;
- 2) Приведение архива данных к единой сетке по времени проведения наблюдений, заполнение пропусков климатических данных;
- 3) Статистический анализ многолетних значений метеорологических величин.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из введения, трех глав и заключения.

В первой главе рассказывается о физико-географическом и климатическом описании Республики Тыва.

Во второй главе рассмотрены метеорологические станции на территории региона, проанализировано их географическое положение.

В третьей главе сформирован архив данных метеостанций по среднегодовым температурам воздуха и атмосферным годовым суммам осадков, заполнены пропуски данных, проанализирован статистический анализ многолетних значений метеорологических величин.

1. Физико-географическое и климатическое описание Республики Тыва

1.1 Физико-географическое описание Республики Тыва

Республика Тыва (также Тува́ или Тыва́) — это субъект Российской Федерации. Находится на юге Восточной Сибири. Входит в Сибирский федеральный округ (рис. 1.1). Вошла в состав РСФСР 14 октября 1944 года как Тувинская автономная область (с 1961 года — Тувинская Автономная Советская Социалистическая Республика), преобразована в республику 24 мая 1991 года.

Республика Тыва расположена в центральной части азиатского материка между $49^{\circ}45'$ – $53^{\circ}46'$ северной широты и $88^{\circ}49'$ – $98^{\circ}56'$ восточной долготы, в верховьях реки Енисей. Она расположена на ЮЗ Восточной Сибири, в пределах Саянской горной системы. Примерно 82 % территории Республики Тыва занимают горы в сочетании высоких горных хребтов и разделяющих их межгорных котловин, остальную часть 18 % - равнинные степи.

Площадь республики составляет 168,6 тысяч кв. км, численность населения - 337 271 человек (по состоянию на 01.01.2023г.). На Ю и ЮВ граничит с Республикой Монголией, на востоке – с Республикой Бурятией, на СВ – с Иркутской областью, на западе – с Республикой Алтай, а на севере и СЗ – с Республикой Хакасией и Красноярским краем. Часовой пояс на всей территории республики UTC+7:00.

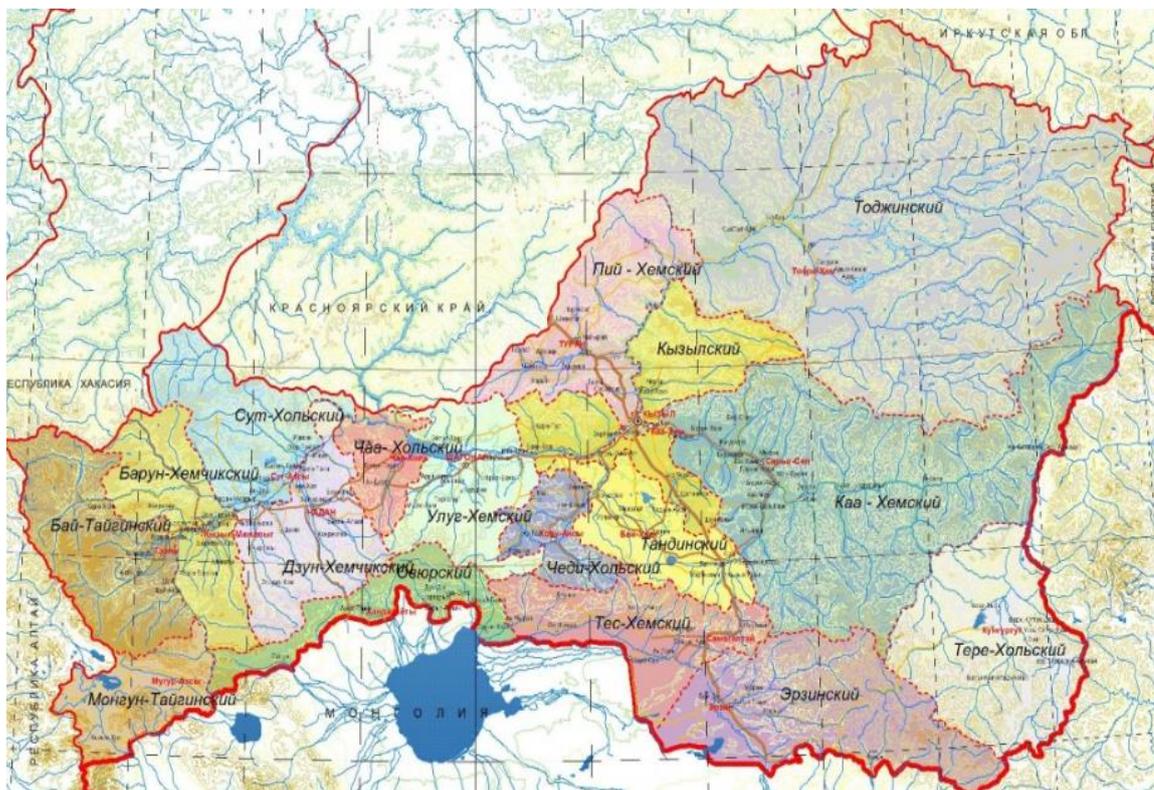


Рис. 1.1 Географическое расположение Республики Тыва

Столицей и административным центром Республики Тыва является город Кызыл. Он основан в 1914 году (до 1918 — Белоцарск, до 1926 — Хем-Бельдир). В городе расположен обелиск "Центр Азии", обозначающий географический центр Азиатского материка (рис. 1.1.2). Впервые о географическом центре Азии упоминает Всеволод Михайлович Родевич (1878-1942 гг). Российский гидролог и гидротехник, доктор технических наук, в 1901-1918 годах исследовал бассейны рек европейской и азиатской частей России, в т. ч. верховье Енисея. В 1910 году он опубликовал в Санкт-Петербурге книгу "Очерк Урянхайского края" (издание Управления внутренних, водных и шоссейных дорог, Санкт-Петербург., 1910 г., стр. 41).



Рис. 1.1.2 Обелиск «Центр Азии» 1964, 1984, 2014 гг.

1.2 Рельеф местности

Рельеф Республики Тыва отличается большим разнообразием. Река Енисей (тув. Улуг-Хем, площадь бассейна – 16521 кв.км, длина 191 км) образуется слиянием рек Большого (тув. Бий-Хем) и Малого Енисея (тув. Каа-Хем) в г. Кызыле. Она протекает в западном направлении в пределах Улуг-Хемской котловины на протяжении 139 км. до водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС (рис.1.2). Река имеет равнинный характер, ширина ее составляет 300-400м, глубина 2-3 м, средняя скорость течения 0,25 – 2,55 м/с. Среднемноголетний расход воды р. Енисей у г. Кызыла равен 1020 м³/с. На 190 км верховья ширина достигает до 500 м и разбивается на отдельные протоки (рукава). Далее русло поворачивает на север, где воде приходится силой пробиваться сквозь расщелину в Саянском хребте.



Рис.1.2 Саяно-Шушенская ГЭС

Северная, южная и западная части Тувы заняты системой линейных хребтов и нагорий, которые разделяются межгорными и внутри горными впадинами в центральной и южной частях площади. На северо-западе Тувы расположены хребты Западного Саяна – Саянский, Хемчикский (по левобережью р. Енисей) и Куртушибинский, который является продолжением Западного Саяна на правобережье Енисея.

Хребты имеют общее северо-восточное направление, отвечающее основному простираению складчатых структур этой системы. На западе в зоне сочленения Западного Саяна с Шапшалским хребтом расположено Алашское нагорье, разделенное долинами рек Алаш, Ак-Суг и их притоков. На ЮЗ находятся хребты Чараш-Тайга, Цаган-Шибету и Мөңгүн-Тайга - самые высокие горные цепи в пределах Тувы. Южные хребты Тувы, Западный и Восточный Танну-Ола, имеют меньшие абсолютные отметки и относительно слабое расчленение по сравнению с хребтами Западного Саяна и Цаган-Шибету.

На востоке Тувы находятся хребты Пограничного Саяна: хребет академика Обручева, Каа-Хемское нагорье (в области бассейнов рек Бий-Хем и Каа-Хем) и южнее – нагорье Сангилен. Рельеф этой части Тувы характеризуется чередованием обособленных гольцовых и альпийских массивов с пологоволнистыми поверхностями средне- и низкогорных участков. Между горными системами Западного Саяна и Танну-Ола расположена система Тувинских впадин (Хемчикская, Кызылская, Чаа-Холь-Шагонарская, Элегестская), характеризующиеся холмисто-мелкосопочным рельефом с отдельными понижениями, занятыми мелкими солоноватыми озерами (рисунок 1.2.1). С юга заходит Убсунурская впадина, расположенная вдоль долины р. Тес-Хем и являющаяся частью обширной Котловины Больших Озер Монголии. Проходя по границам республики, они образуют две «подковообразные» горные дуги: Саянскую и Танну-Ольскую, которые обращены

выпуклостью к северу. Северная дуга состоит из сложной горной системы Западного Саяна. С востока к ним примыкает меридиональная горная цепь Чарм-Тайга, которая включает в себя массивы пика Топографов (3044 м) и горы Мунку-Сасан (3126 м). В итоге крупная «подковообразная» горная дуга закрывает Туву с запада, севера и востока.

Наличие этих двух крупных орографических дуг оказывает решающее влияние на климат, растительность и весь природный облик Тувы.

На территории Тувы около 45 вершин высотой более 3000 м. Большинство из них сосредоточены в юго-западной части республики. По хребтам Лихачева, Цаган-Шибэту, Танну-Ола и Сангилен проходит участок мирового водораздела между бассейном Ледовитого океана и бессточной областью Центральной Азии (рисунок 1.2.2). Здесь также проходят южная граница сибирских таежных ландшафтов и северная граница пустынь Монголии.

На юге Алтае-Саянской горной страны расположена Тувинская котловина и Тувинское нагорье с примыкающими к ним хребтами Танну-Ола, находящиеся в центре Азии в западной части гор Южной Сибири.

Тоджинская, Турано-Уюкская, Улуг-Хемская, Хемчикская котловины располагаются между Западным Саяном на севере и хребтами Западный Танну-Ола, Восточный Танну-Ола, Хорумнуг-Тайга и Сангилен на юге. На западе они ограничены Шапшальским хребтом, который относится к горной системе Алтая, с востока – Восточным Саяном.

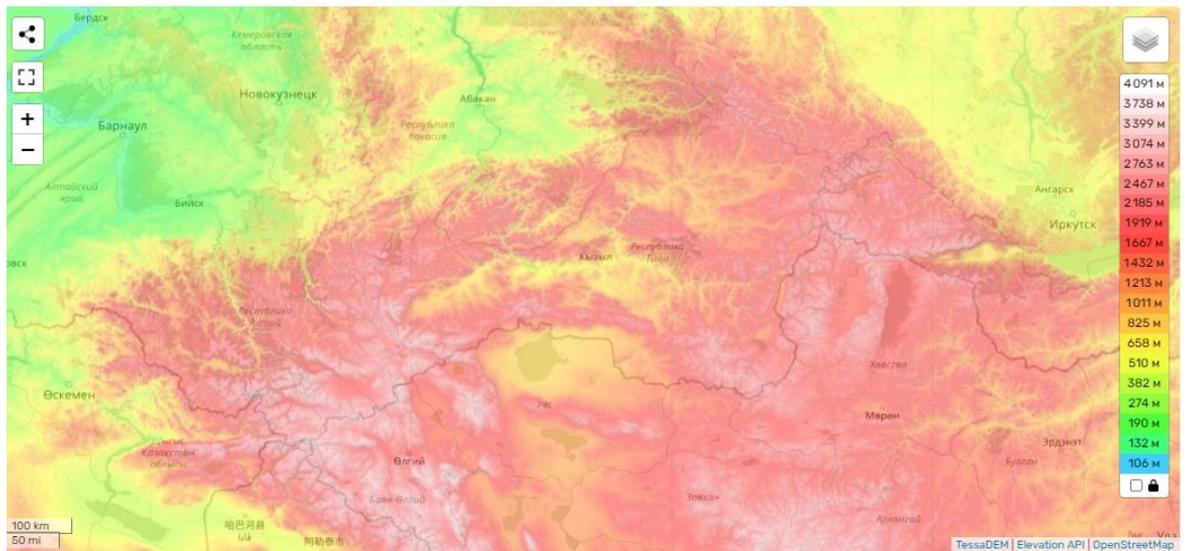


Рис. 1.2.4 Топографическая карта Республики Тыва
(средняя высота 1 411 м)



Рис. 1.2.4 Месторождения полезных ископаемых

В Республике Тыва выявлено более 50 месторождений и рудопроявлений редких металлов. Важнейшие полезные ископаемые – это золото, каменный

уголь, руды свинца, кобальт, железо, хризотил-асбест, руды меди, ртуть, каменная соль и др.



Рис. 1.2.4 Картинка хризотил-асбеста

1.3 Климатическое описание Республики Тыва

Территория республики относится к умеренному климатическому поясу. Климат Тувы определяется географическим положением в центре Азиатского континента Евразии, что обуславливается ее удаленностью от морей и океанов, высокой приподнятостью территории над уровнем моря и своеобразным строением рельефа.

Климат резко континентальный, засушливый, обуславливающийся участием монгольских элементов в степной растительности межгорных котловин и примыкающих к ним склонов хребтов. Он характеризуется большими амплитудами температур, зимними температурными инверсиями, теплым летом, небольшим количеством неравномерно выпадающих осадков и большой сухостью воздуха. Зима в котловинах продолжительная, холодная, с преобладанием безветренной, ясной и солнечной погоды. Зимой вся территория заполнена холодным континентальным воздухом умеренных широт, который скапливается и долго застаивается в котловинах. Сильные морозы способствуют глубокому промерзанию почвы и медленному ее

оттаиванию весной. Поэтому там сохраняется многолетняя мерзлота. Однако в горах зимой температуры выше.

Основные природно-климатические зоны Тувы: тундровые плоскогорья с зонами вечной мерзлоты, таежные массивы, которые соединяются со степью и пустыней.

Значительное распространение территории с запада на восток и с севера на юг влияет на изменение климата в пределах республики. С З на В увеличивается количество осадков, понижается температура воздуха.

Хребты Саян закрывают Туву с З, С и СВ подковообразной горной цепью высотой свыше 2000 м и защищают ее от З и СЗ ветров, несущих влагу (рис. 1.3).



Рис. 1.3 Горные хребты на территории Тувы

Подветренные склоны хребтов Тувы и котловины получают всего 200-300 мм осадков в год.

Очень своеобразный климатический режим котловин в Республике Тыва. Закрытые со всех сторон от ветров они сильно прогреваются солнцем, Восходящие струи нагретого воздуха размывают облачность над ними. И даже когда в окружающих горах ненастье, над котловинами может быть ясное небо.

Большое влияние на климат и в целом на природные условия Тувы оказывает абсолютная высота местности.

На территории Тувы выделяют три вертикальных климатических пояса: низкогорье (от 520 до 1000-1250 м), среднегорье (от 1000-1250 до 1900-2000

м) и высокогорье (свыше: 2000 м). Восточная часть Тувы более влажная, так как имеет наветренную экспозицию, а также потому что она расположена в поясе среднегорья и высокогорья. Низинные равнины западной Тувы значительно суше; здесь преобладают степи, в то время как почти вся восточная часть покрыта лесами.

Температура воздуха. Наибольшие амплитуды температуры, а именно 100 - 120 °С, характерны для межгорных депрессий (котловин). Зимой ярко выраженная инверсия температур и стекание холодного тяжелого воздуха вниз по склонам делают эти места наиболее холодными с абсолютными минимумами до минус 54 °С - 60 °С. Летом воздух в нижних слоях и поверхность земли прогреваются до плюс 45°С -55 °С. Весна в низкогорье наступает, как правило, во второй декаде апреля, а в среднегорье - в первой декаде мая. Нарастание тепла идет очень интенсивно, особенно в котловинах. Средние температуры июля достигают в низкогорье 19-20°, августа + 15-18°. В среднегорье лето более короткое и прохладное. Средняя температура июля (самого теплого месяца) составляет + 13-16°. При этом максимальные температуры могут превышать +30, а минимальные - доходить до -3°.

Осадки. Осадки распределяются по сезонам неравномерно. Большую их часть получают наветренные склоны, меньшую - подветренные. Северные наветренные склоны в основном покрыты лесами, южные, получающие меньше влаги и одновременно больше солнца, часто заняты лесостепью и степью. Минимальное количество их (от 4 до 10% годовых) приходится на зиму и весну. В летние месяцы над Тувой получает развитие циклональная деятельность, что обуславливает максимум осадков в этот сезон. Среднегодовой уровень осадков в котловинах составляет 200-230 мм, в среднегорье - до 400 мм, причем на летние месяцы приходится 60-65% этого количества. Затяжные дожди бывают только в восточных районах Тувы.

Большая часть территории лежит в "дождевой тени" хребтов Алтая и Западного Саяна, поэтому осадков выпадает мало: в Тувинской котловине – 180–300 мм, в Убсунурской – немногим более 100 мм/год. Лишь наветренные

склоны хребтов верховьев Бий-Хема увлажняются лучше: годовое количество осадков достигает 500–600 мм. Наибольшее количество осадков (85 % годовой суммы) приходится на теплое время года на июль и август. Из характерных климатических явлений следует отметить песчаные бури, случающиеся весной в котловинах, и летние фены.

В связи с развитием циклонов в летние месяцы увеличивается и облачность, достигая максимума в июне (60-70%). Летом над Тувой господствуют З и СЗ ветра. Средняя скорость ветра в течение лета удерживается на уровне 2-3 м/сек. Получают развитие горно-долинные ветры: днем - к вершинам, ночью - в долины. Их постоянство служит надежным признаком устойчивой ясной погоды.

Влагонесущие массы проникают сюда из Атлантики и оставляют большую часть осадков в СЗ части горной страны. Горные хребты не дают влажным воздушным потокам проникнуть далеко на юг региона. По этой причине на монгольской территории Тувы зимой безветренно, солнечно, снегопады очень редкие. В зимний и весенний период осадков выпадает очень мало. Летние дожди - со второй половины июня и продолжаются до второй половины августа.

2.

Метеорологическая измерительная сеть Республики Тыва

На основании справочно-информационного портала "Погода и климат" (сайт www.pogodaiklimat.ru [13]) в Республике Тыва в настоящее время действует 12 метеорологических станций (рис.2). Они относятся к Тувинскому ЦГМС - филиалу ФГБУ «Среднесибирское УГМС». Распределение метеостанций по всему региону относительно равномерное.

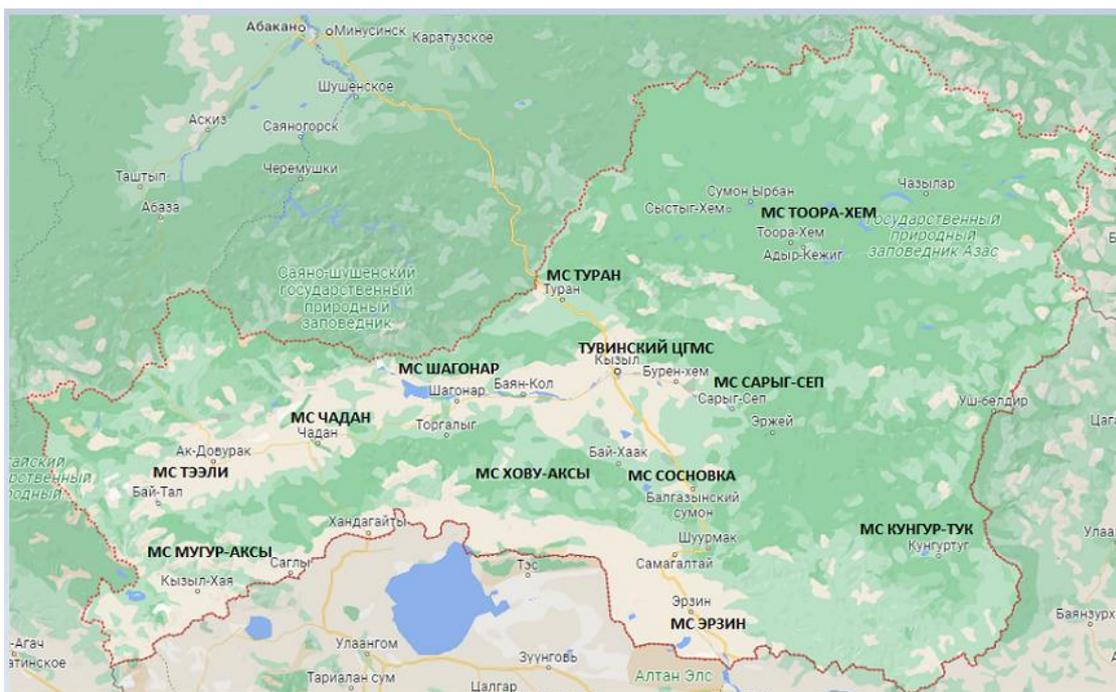


Рис.2 Метеорологические станции на территории Республики Тыва

2.1 Метеорологические станции и их географическое положение

Была создана таблица географического местоположения всех метеорологических станций на территории Республики Тыва с указанием широты, долготы и высоты над уровнем моря:

№ п.п	Название метеостанции	Широта	Долгота	Высота над УМ
1	КЫЗЫЛ	51.72	94.50	632 м.
2	Кунгур-Тук	50.60	97.52	1315 м.
3	Мугур-Аксы	50.37	90.43	1850 м.
4	Сарыг-Сеп	51.50	95.57	706 м.
5	Сосновка	51.15	94.52	947 м.
6	Тоора-Хем	52.47	96.10	920 м.
7	Туран	52.13	93.92	862 м.

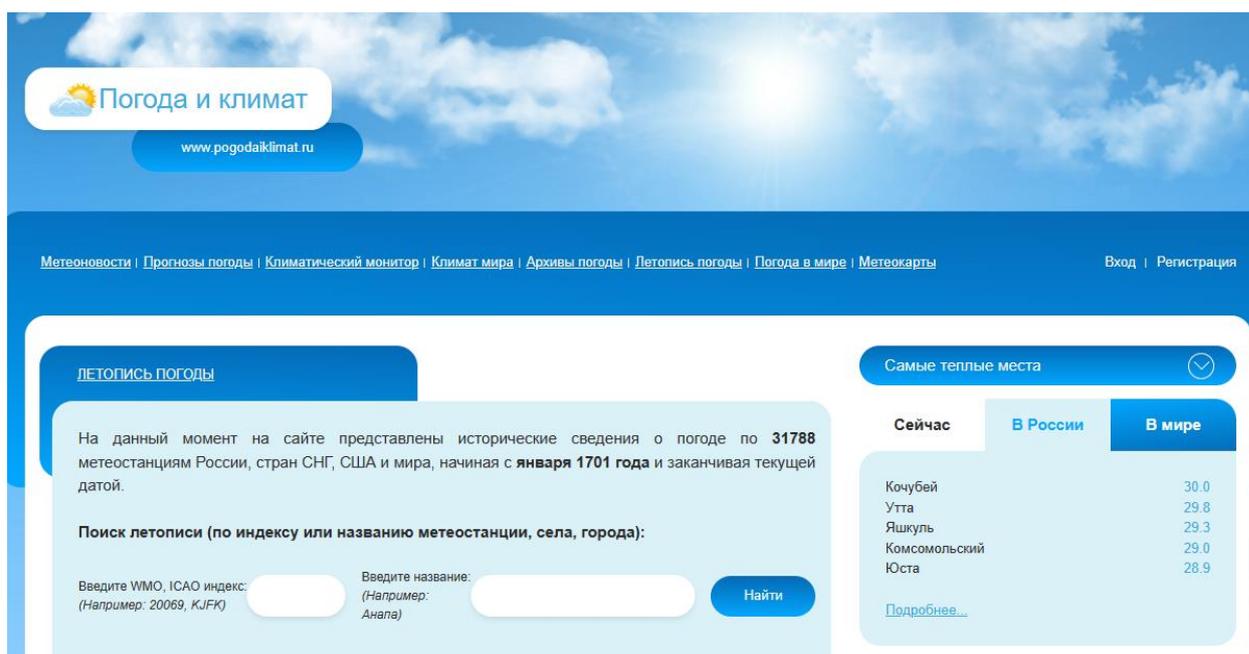
8	Тээли	51.02	90.20	983 м.
9	Хову-Аксы	51.12	93.83	1043 м.
10	Чадан	51.28	91.58	832 м.
11	Шагонар	51.42	92.73	560 м.
12	Эрзин	50.27	95.12	1101 м.

Табл. 2.1 Географическое положение метеостанций

3. Формирование архива данных о климатообразующих факторах Республики Тыва

3.1 Формирование архива по метеорологическим станциям за период с 1963 по 2022г.

Для формирования архива были взяты данные с сайта www.pogodaiklimat.ru [13]. На данном сайте находится информация о прогнозах погоды, климатическом мониторинге, климате мира, метеокарты, летописи и архивы погоды и другое.



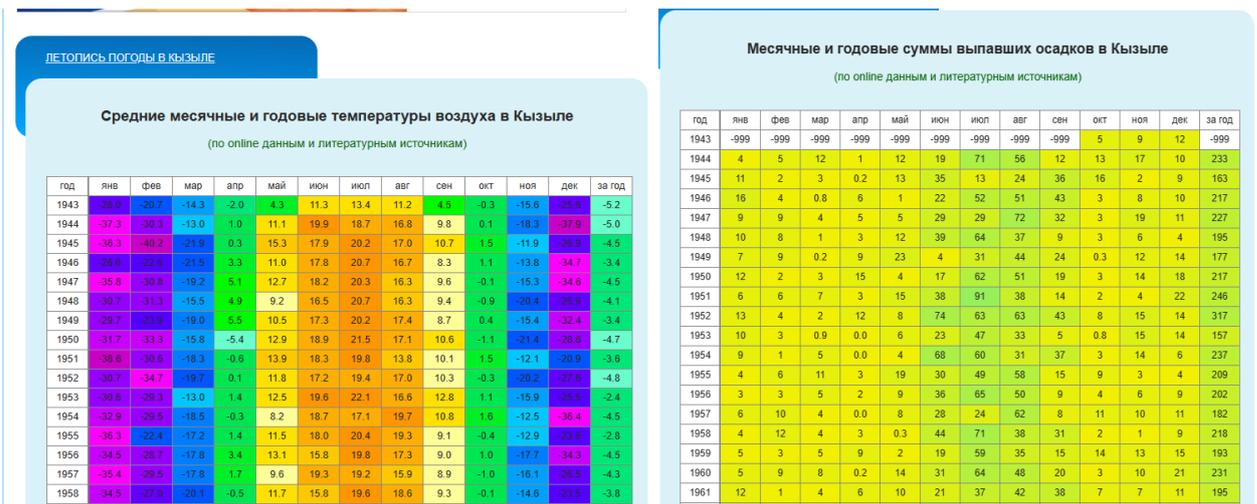


Рис 3.1.1 Справочно-информационный портал "Погода и климат" сайт www.pogodaiklimat.ru

В летописях погоды были найдены данные о действующих 12 метеостанциях на территории Республики Тыва. Затем были скачаны данные о средних годовых температурах воздуха и годовых суммах осадков каждой метеостанции. У большинства станций наблюдения велись не ранее 1963 года, поэтому этот год был взят в качестве начала климатологического ряда. Остальные данные удалены. Концом климатического ряда стал 2022 год, так как 2023 год еще не закончился.

год	КЫЗЫЛ			МУГУР-АКСЫ			САРЫГ-СЕП			СОСНОВКА			ТООРА_ХЕМ		
	Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски
1963	-3.5	165		-3.0	89		-4.2	-999		999.9	-999		-4.8	330	
1964	-3.4	178		-3.1	146		-4.4	-999		-2.9	340		-5.5	288	
1965	-2.8	237		-2.3	-999		-3.8	-999		-2.3	315		-4.7	-999	
1966	-2.6	246		-2.8	236		-3.9	-999		-2.9	406		-5.5	335	
1967	-3.9	221		-3.7	162		-5.0	-999		-3.3	371		-6.2	401	
1968	-2.9	222		-3.7	209		-4.2	-999		-2.9	324		-5.5	324	
1969	-4.7	256		-4.5	180		-6.1	-999		-4.6	418		-6.8	315	
1970	-3.8	289		-3.7	223		-4.8	-999		-3.5	505		-6.3	380	
1971	-2.8	203		-2.8	116		-3.9	-999		-2.6	364		-5.8	307	
1972	-2.5	260		-2.7	160		-3.9	-999		-2.3	383		-5.3	358	
1973	-2.6	163		-2.8	191		-3.9	282		-2.2	359		-5.2	253	
1974	-2.8	201		-3.2	75		-4.6	217		-3.1	315		-6.2	339	
1975	-2.7	137		-2.9	145		-4.3	273		-2.5	245		-5.4	282	
1976	-3.0	197		-3.5	138		-4.7	269		-3.1	348		-6.1	340	
1977	-1.8	179		-2.6	68		-3.3	196		-2.2	-999		-4.9	297	
1978	-1.9	216		-2.3	155		-3.3	224		-1.7	324		-4.7	269	
1979	-1.2	222		-1.2	125		-2.6	292		-1.4	358		-4.3	304	
1980	-2.7	252		-2.8	108		-4.3	315		-2.7	332		-5.4	345	
1981	-2.6	163		-3.1	139		-4.1	268		-2.5	327		-5.0	301	
1982	-1.3	169		-1.9	188		-2.9	85		-1.5	266		-4.1	261	
1983	-1.9	217		-3.1	127		-3.8	169		-2.2	334		-4.4	291	
1984	-3.3	202		-4.8	214		-4.7	176		-3.6	372		-5.8	402	

ТУРАН			ТЭЭЛИ			ХОВУ-АКСЫ			ЧАДАН			ЭРЗИН			год
Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски	Тем-ра	Осадки	Пропуски	год
-4.4	-999		-2.3						-2.4	-999		-4.3	199		1983
-4.5	-999		-3.2						-3.6	-999		-4.6	201		1984
-4.1	-999		-1.8						-1.8	-999		-4.7	-999		1985
-4.5	-999		-1.5						-0.8	-999		-4.3	267		1986
-4.8	-999		-3.1						-2.5	-999		-5.2	342		1987
-4.5	-999		-3.4						-2.9	-999		-5.0	186		1988
-5.9	-999		-4.5						-4.8	-999		-5.1	283		1989
-5.1	-999		-3.4						-2.9	-999		-5.3	262		1970
-4.1	-999		-2.5						-2.9	-999		-3.9	186		1971
-4.1	-999		-1.9						-2.2	-999		-4.4	215		1972
-4.1	302		-1.9	265					-2.3	254		-4.2	257		1973
-4.8	247		-1.7	143					-2.0	-999		-5.2	191		1974
-3.9	245		-2.3	225					-2.4	415		-4.8	181		1975
-4.4	184		-3.6	184					-4.2	166		-4.9	202		1976
-3.6	254		-1.7	157					-1.8	125		-3.8	172		1977
-3.5	208		-1.2	95					-1.8	129		-4.1	134		1978
-2.8	315		-0.3	164					-0.9	134		-3.0	196		1979
-4.3	212		-2.6	70					-2.6	167		-4.7	181		1980
-4.2	213		-1.6	68					-2.3	-999		-4.9	199		1981
-3.0	129		-1.0	-999		-2.3	52		-1.1	25		-3.2	196		1982
-3.5	134		-1.8	20		-3.1	70		-1.6	21		-4.4	185		1983
-5.1	154		-2.6	38		-4.6	160		-3.0	-999		-5.5	211		1984

Рис. 3.1.2 Архив данных метеостанций Республики Тыва

3.2 Приведение архива данных к единой сетке по времени проведения наблюдений, заполнение пропусков.

Ряды данных некоторых метеостанций оказались неполными: у 10 из 12 станций часть измерений отсутствовала. Поэтому было принято решение провести восстановление пропусков посредством метода линейной регрессии.

Восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов к многолетнему периоду основано на построении регрессионных уравнений. Такие регрессионные зависимости могут быть построены как между разными метеорологическими характеристиками на одной станции (температуры воздуха и осадков).

МНК является классическим методом анализа данных и лежит в основе многих других методов статистического анализа. Метод наименьших квадратов впервые был сформулирован в 1805 г. Лежандром, поэтому его называют принципом Лежандра.

Термин «регрессия» (regression - отступление, движение назад) впервые был введен в научную литературу Ф.Гальтоном в 1886 г. В

дальнейшем под понятием «регрессия» стали понимать стохастические (корреляционные) связи между переменными.

Линейная регрессия — это метод статистического моделирования, который используется для анализа связи между двумя непрерывными переменными. Он направлен на поиск подходящего линейного уравнения, которое представляет связь между независимой переменной (переменная и предиктор) и зависимой переменной (переменная отклика). Уравнение для простой модели линейной регрессии представлено как:

где:

- Y –зависимая переменная (переменная отклика);
- X –независимая переменная (предикторная переменная);
- β_0 –точка пересечения (значение Y , когда X равно нулю);
- β_1 –наклон (изменение Y на каждую единицу изменения X);
- ε –ошибка (разница между прогнозируемым и фактическим значениями Y).

Целью линейной регрессии является оценка значений коэффициентов β_0 и β_1 , которые минимизируют сумму квадратов разностей между прогнозируемыми значениями и фактическими значениями зависимой переменной.

Существует два основных типа линейной регрессии:

1) Простая линейная регрессия: одна независимая переменная. Ее используют для прогнозирования зависимой переменной. Она предполагает линейную зависимость между двумя переменными.

2) Множественная линейная регрессия: несколько независимых переменных. Это позволяет использовать более сложные отношения, рассматривая комбинированное влияние нескольких предикторов на зависимую переменную.

Линейный регрессионный анализ позволяет:

- Оценивать силы и направления связи между переменными
- Прогнозировать значения

- Проводить оценку статистической значимости.

В данном случае были рассмотрены регрессионные зависимости между одинаковыми метеорологическими характеристиками, но с разных станций.

Выбраны ряды, один ряд из которых имеет меньшую продолжительность наблюдений, который необходимо восстановить (n), а другой большую – N.

Определяются коэффициенты уравнения связи между коротким (Y) и продолжительным (X) рядами наблюдений за совместный период:

Где

x – известное значение, взятое из продолжительного ряда за тот же год.

k1 и k0 были получены посредством использования в программе Excel функции «ЛИНЕЙН». Данная функция рассчитывает статистику для ряда с применением МНК, чтобы вычислить прямую линию, которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные и затем возвращает массив, который описывает полученную прямую.

В конечном счете пропущенные данные (пропуски) были восстановлены:

год	Кызыл		Пропуски	МУГУР-АКСЫ		Пропуски	САРЫГ-СЕП		Пропуски	СОСНОВКА		Пропуски	ТООРА-ХЕМ		Пропуски	ТУРАН		Пропуски
	Тем-ра	Осадки		Тем-ра	Осадки		Тем-ра	Осадки		Тем-ра	Осадки		Тем-ра	Осадки		Тем-ра	Осадки	
1963	-3,5	165		-3	89		-4,2	225	ПРОПУСК	-3,32	285	ПРОПУСК	-4,8	330		-4,4	253	ПРОПУСК
1964	-3,4	178		-3,1	146		-4,4	238	ПРОПУСК	-2,9	340		-5,5	288		-4,5	261	ПРОПУСК
1965	-2,8	237		-2,3	150	ПРОПУСК	-3,8	294	ПРОПУСК	-2,3	315		-4,7	341	ПРОПУСК	-4,1	298	ПРОПУСК
1966	-2,6	246		-2,8	236		-3,9	303	ПРОПУСК	-2,9	406		-5,5	335		-4,5	303	ПРОПУСК
1967	-3,9	221		-3,7	162		-5	279	ПРОПУСК	-3,3	371		-6,2	401		-4,8	288	ПРОПУСК
1968	-2,9	222		-3,7	209		-4,2	280	ПРОПУСК	-2,9	324		-5,5	324		-4,5	288	ПРОПУСК
1969	-4,7	256		-4,5	180		-6,1	312	ПРОПУСК	-4,6	418		-6,8	315		-5,9	309	ПРОПУСК
1970	-3,8	289		-3,7	223		-4,8	344	ПРОПУСК	-3,5	505		-6,3	380		-5,1	330	ПРОПУСК
1971	-2,8	203		-2,8	116		-3,9	261	ПРОПУСК	-2,6	364		-5,8	307		-4,1	276	ПРОПУСК
1972	-2,5	260		-2,7	160		-3,9	316	ПРОПУСК	-2,3	383		-5,3	358		-4,1	312	ПРОПУСК
1973	-2,6	163		-2,8	191		-3,9	282		-2,2	359		-5,2	253		-4,1	302	
1974	-2,8	201		-3,2	75		-4,6	217		-3,1	315		-6,2	339		-4,8	247	
1975	-2,7	137		-2,9	145		-4,3	273		-2,5	245		-5,4	282		-3,9	245	
1976	-3	197		-3,5	138		-4,7	269		-3,1	348		-6,1	340		-4,4	184	
1977	-1,8	179		-2,6	68		-3,3	196		-2,2	305	ПРОПУСК	-4,9	297		-3,6	254	
1978	-1,9	216		-2,3	155		-3,3	224		-1,7	324		-4,7	269		-3,5	208	
1979	-1,2	222		-1,2	125		-2,6	292		-1,4	358		-4,3	304		-2,8	315	
1980	-2,7	252		-2,8	108		-4,3	315		-2,7	332		-5,4	345		-4,3	212	
1981	-2,6	163		-3,1	139		-4,1	268		-2,5	327		-5	301		-4,2	213	

Рис. 3.2.1 – Восстановленные данные метеостанций

При работе с данными было отмечено, что все станции за исключением Сосновки не имели пропусков по данным среднегодовой температуры воздуха. По данным годовой суммы осадков пропуски были у 9 станций: Мугур-Аксы, Сарыг-Сеп, Сосновка, Тоора-Хем, Туран, Тээли, Хову-Аксы,

Чадан, Эрзин. Максимум пропусков по годовым суммам осадков составило 30 лет (Чадан 1963 по 1972, 1974, 1981, 1983 по 1986, 1989 по 1999, 2002, 2004 по 2005, 2015 гг.). Минимум – 1 год (Тоора-Хем 1965г., Эрзин 1965г.).

Название метеостанции	Временной ряд	Пропуски (среднегодовая температура воздуха)	Пропуски (годовая сумма осадков)
Кызыл	1963	0	0
Мугур-Аксы	1963	0	2
Сарыг-Сеп	1963	0	21
Сосновка	1963	1	4
Тоора-Хем	1963	0	1
Туран	1963	0	22
Тээли	1963	0	18
Хову-Аксы	1963	0	15
Чадан	1963	0	30
Эрзин	1963	0	1

Табл. 3.2.1 –Временные ряды и количество пропусков метеостанций

Метеостанции имеют следующие пропуски:

- Сосновка по среднегодовым температурам за 1963г. и по данным годовых сумм осадков за 1963, 1977, 2018 по 2019 гг.
- Мугур-Аксы по данным годовых сумм осадков за 1965, 1995гг.
- Сарыг-Сеп по данным годовых сумм осадков за 1963 по 1972, 1990, 1992, 1994, 1995 по 2000, 2004, 2005 гг.
- Тоора-Хем по данным годовых сумм осадков за 1965г.
- Туран по данным годовых сумм осадков за 1963 по 1972, 1992, 1995 по 2005 гг.

- Тээли по данным годовых сумм осадков за 1982, 1965, 1991 по 2006 гг.
- Хову-Аксы по данным годовых сумм осадков за 1990 по 1992, 1994 по 2000, 2002 по 2005 гг.
- Чадан по данным годовых сумм осадков за 1963 по 1972, 1974, 1981, 1984 по 1986, 1989 по 1999, 2002, 2004 по 2005, 2015 гг.
- Эрзин по данным годовых сумм осадков за 1965г.

На основании полных сведений появилась возможность вычислить средние значения среднегодовых температур и годовых сумм осадков. Их расчёт был также произведён в программе Microsoft Excel посредством функции «СРЗНАЧ»:

2002	0,1	210		-1,1	90		-0,7	261		-0,2	282		-2,1	288		2,9	210	ПРОПУСК	1,5	-999
2003	-1,5	297		-2,1	82		-1,9	406		-1,6	446		-3	485		1,3	297	ПРОПУСК	1,5	-999
2004	-0,6	173		-1,3	99		-1,4	233	ПРОПУСК	-0,6	334		-2,9	331		2	173	ПРОПУСК	2	-999
2005	-2	210		-3,9	68		-3,3	268	ПРОПУСК	-2,1	285		-4	324		-2,7	210	ПРОПУСК	-1,1	-999
2006	-1,1	264		-1,9	97		-2,5	389		-1,4	333		-3,2	404		-2,6	348		0	-999
2007	0,3	166		-0,6	52		-1,2	300		0,1	306		-1,7	216		-1,1	224		0,6	163
2008	-0,7	197		-0,9	134		-2,2	340		-0,8	294		-2,5	342		-2,1	333		0,1	192
2009	-1,3	218		-1,5	120		-2,8	409		-1,8	395		-3,7	343		-3,1	349		-0,6	160
2010	-2,2	286		-3	164		-3,7	392		-2,6	413		-4,3	356		-4	380		-1,8	237
2011	-1,7	205		-2,6	99		-3,5	321		-1,8	376		-3,6	250		-1,6	335		-1,3	205
2012	-1,7	192		-2,4	161		-3,5	317		-2,1	372		-3,6	362		-3,4	412		-1,2	155
2013	0	264		-1,4	150		-1,6	336		-0,9	469		-2,2	332		-2	341		0,2	178
2014	0	185		-2	106		-1,8	234		-0,8	274		-2,7	199		-2	209		-0,4	180
2015	0,7	182		-0,9	131		-1,1	283		-0,2	301		-1,9	314		-1,3	349		0	173
2016	-0,8	276		-2,2	335		-2,5	452		-1,6	384		-2,6	431		-3,1	365		-1,7	353
2017	0,2	308		-0,8	123		-1,3	359		-0,4	333		-1,5	337		-1,6	316		-0,2	222
2018	-0,5	306		-2	114		-2,4	451		-1,4	482	ПРОПУСК	-2,9	437		-2,4	326		-0,5	252
2019	0,1	304		-1,9	195		-1,7	395		-0,8	479	ПРОПУСК	-2,1	383		-2	328		-0,5	244
2020	0,6	342		-1,3	254		-1,1	435		-0,3	1039		-1,1	440		-1,4	366		0	314
2021	0,2	322		-1,1	154		-1,7	428		-0,5	431		-2	361		-2,3	371		0,3	232
2022	-0,7	144		-2,5	134		-2,9	269		-1,4	219		-2,6	268		-2,9	226		-1,1	143
СРЗНАЧ	-1,54667	223,383		-2,31	147,561		-2,94667	292,087		-1,79365	366,556		-3,95333	331,862		-2,66833	268,616		-0,91667	-251,26

Рис. 3.2.2 Средние значения среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков.

На основании восстановленных данных была создана электронная карта метеостанций и проведена их пространственная интерполяция.

Для этого была использована программа MapInfo и данные станций, включая их широту, долготу и средние значения среднегодовых температур воздуха.

№ п.п	Название метеостанции	Широта	Долгота	Среднегодовая температура
1	КЫЗЫЛ	51.72	94.50	-1.5
2	Мугур-Аксы	50.37	90.43	0
3	Сарыг-Сеп	51.50	95.57	0
4	Сосновка	51.15	94.52	-1.7
5	Тоора-Хем	52.47	96.10	0
6	Туран	52.13	93.92	0
7	Тээли	51.02	90.20	0
8	Хову-Аксы	51.12	93.83	0
9	Чадан	51.28	91.58	0
10	Эрзин	50.27	95.12	0

Табл. 3.2.2 Географическое расположение метеостанций и среднегодовые температуры воздуха

В программе MapInfo был создан геоинформационный слой России:

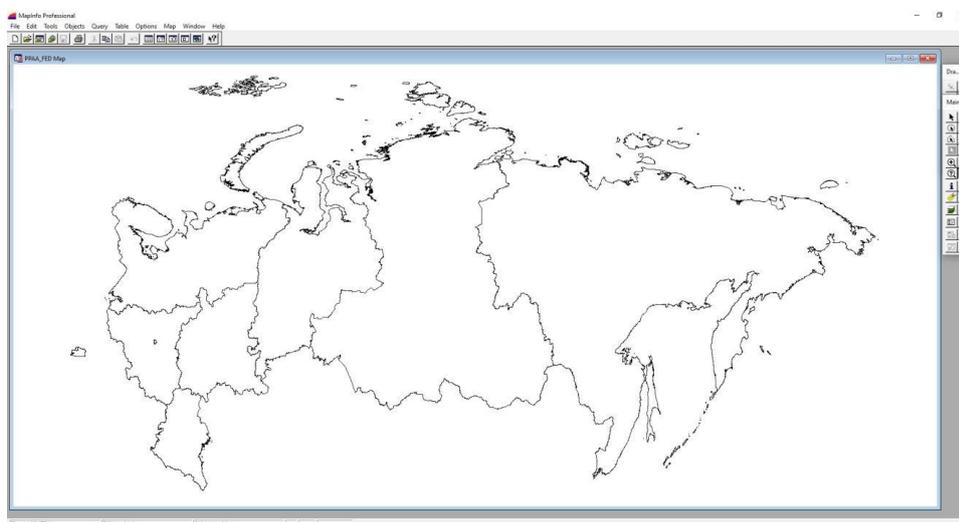


Рис. 3.2.3 Геоинформационный слой Российской Федерации

Затем вывели сформированный слой метеостанций в регионе.



Рис. 3.2.4 – Геоинформационный слой Республики Тыва

Далее строим поле пространственной изменчивости средних многолетних температур и годовых осадков метеостанций Республики Тыва:

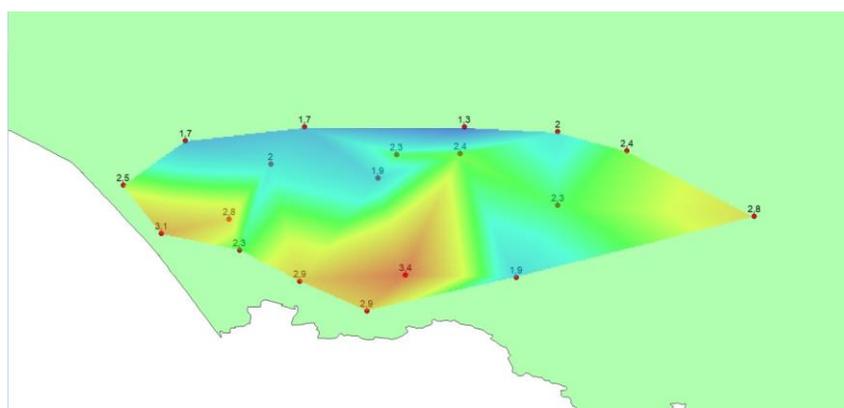


Рис. 3.2.5 Карта с пространственной интерполяцией среднегодовых температур

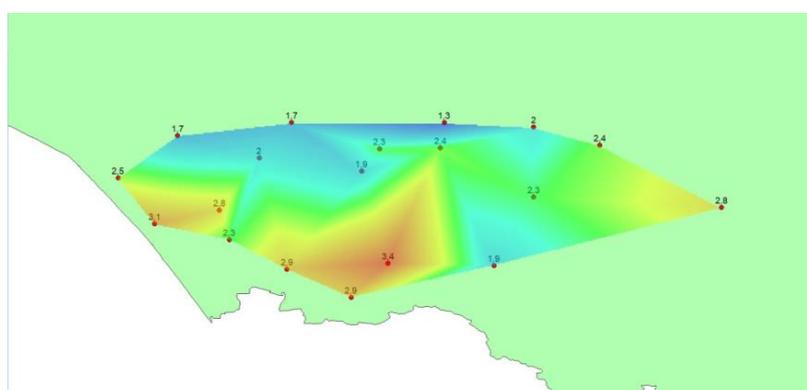


Рис. 3.2.6 Карта с пространственной интерполяцией годовых сумм осадков

3.3 Статистический анализ многолетних значений метеорологических величин

На данный момент существует много методов обработки стационарных временных рядов данных. Соотношение случайной и закономерной составляющих общей изменчивости временного ряда оценивается путем выявления и удаления статистически значимых монотонных и циклических трендов. В результате этого уменьшается общая дисперсия исследуемого показателя, и тем самым повышается надежность, а также точность его вероятностной и прогнозной оценок.

Для сверхкраткосрочного и текущего прогнозов временных рядов метеорологических данных пользуются экстраполяцией текущих значений на будущее. Надо учитывать тот факт, что методы экстраполяции применимы в рамках одного процесса.

Одним из этапов исследования разных временных рядов является определение наличия моментов времени смены процессов, которым подчинялось поведение временного ряда.

Моментом времени в исследуемом ряду, который соответствует резкому изменению характера протекающего процесса, т. е. смене тренда, можно считать «точкой бифуркации». В интервалах между бифуркациями поведение системы предсказуемо, оно определяется как случайными, так и закономерными факторами. Для нахождения положения точки бифуркации возможно использование тренда в качестве математической модели отрезков временного ряда.

В основе алгоритма определения положения точек бифуркации лежит сравнение между собой разных отрезков временного ряда. Необходимо заменить отрезки временного ряда на их математическую модель. В качестве моделей можно использовать полиномы разных степеней (от полинома 0й степени). При таком подходе каждая степень полинома определяет геометрическую форму отрезков временного ряда

между точками бифуркации. Для полинома 1й степени – это отрезки прямых, а для полинома 2й степени – это параболы и т.д.

На основании этого определение положения точек бифуркации включает в себя следующие этапы:

- формирование на основе прямого перебора отрезков разной длины;
- построение для них математических моделей;
- оценку успешности каждого такого разбиения с помощью одного или нескольких количественных критериев, которые рассчитываются с использованием соответствующих метрик.

При исследовании временных рядов необходимо обязательно учитывать нахождение момента времени, которое соответствует резкому изменению характера протекающего процесса, т. е. точки бифуркации. Рассмотрим одну из возможных методик реализации нахождения положения точки бифуркации:

Пусть имеется временной ряд их N значений. Разделим этот ряд на два отрезка: $[1, n_1]$ и $[n_1+1, N]$. Вычислим средние значения для каждого отрезка:

$$Y_{1cp} = \sum_1^{n_1} Y_i \qquad Y_{2cp} = \sum_{n_1+1}^n Y_i$$

Где Y_{1cp}, Y_{2cp} – средние значения рядов, Y_i – член ряда с номером i

В таком случае положение точки бифуркации определяется номером n_1 , для которого будет выполняться следующее условие:

Где SS – рассчитываемый параметр для поиска точки бифуркации

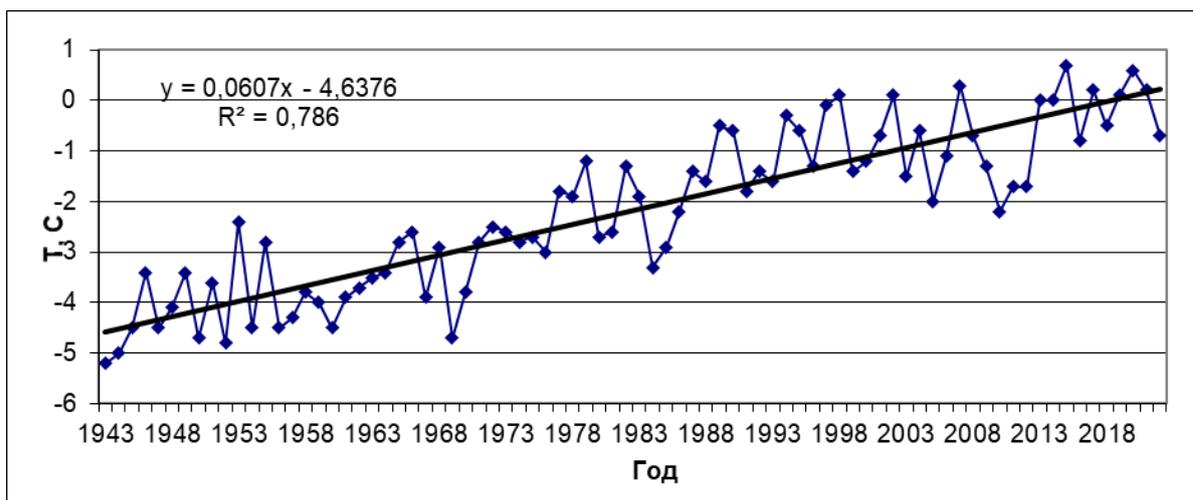
При данном расчете точка бифуркации определяется положением 2х прямых, при котором сумма квадратов отклонений этих прямых от значений временного ряда будет минимальной. Для оценки «эффективности» произведенного разделения ряда на 2 отрезка можно воспользоваться сравнением дисперсии всего ряда σ ряда и дисперсии σ ступ его двух отрезков, вычисленных по формуле:

$$\sigma_{ступ} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 n_1 + \sigma_2^2 n_2}{(n_1 + n_2 - 1)}}$$

Где σ – среднеквадратическое отклонение, n_1, n_2 – длины рядов

На основании этих алгоритмов были построены временные ряды для всех метеорологических станций, используемых в работе:

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Кызыл (1943-2022гг)



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Кызыл (1944-2022гг)

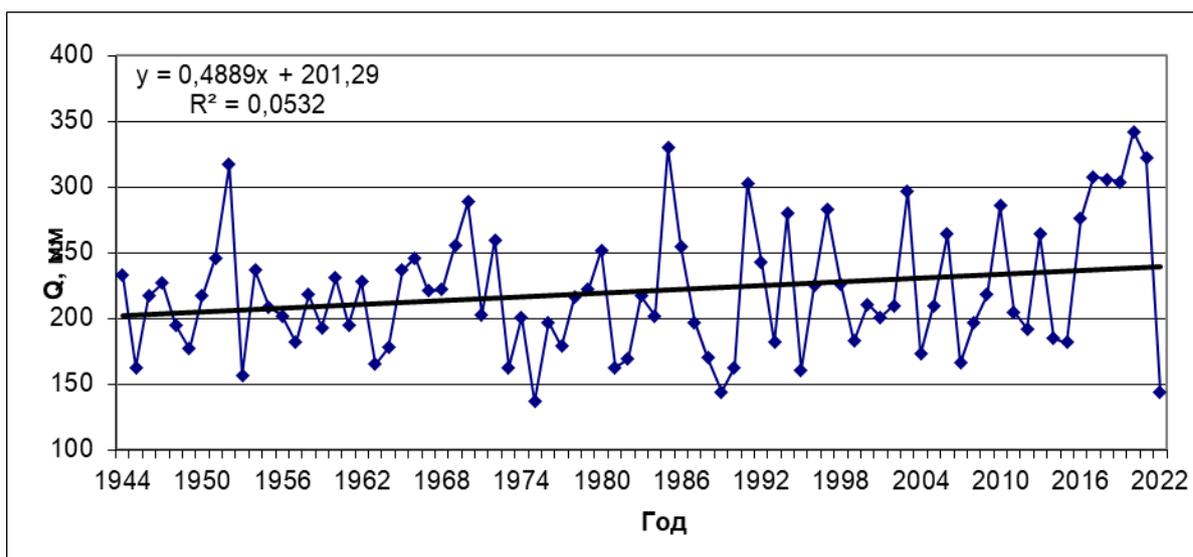
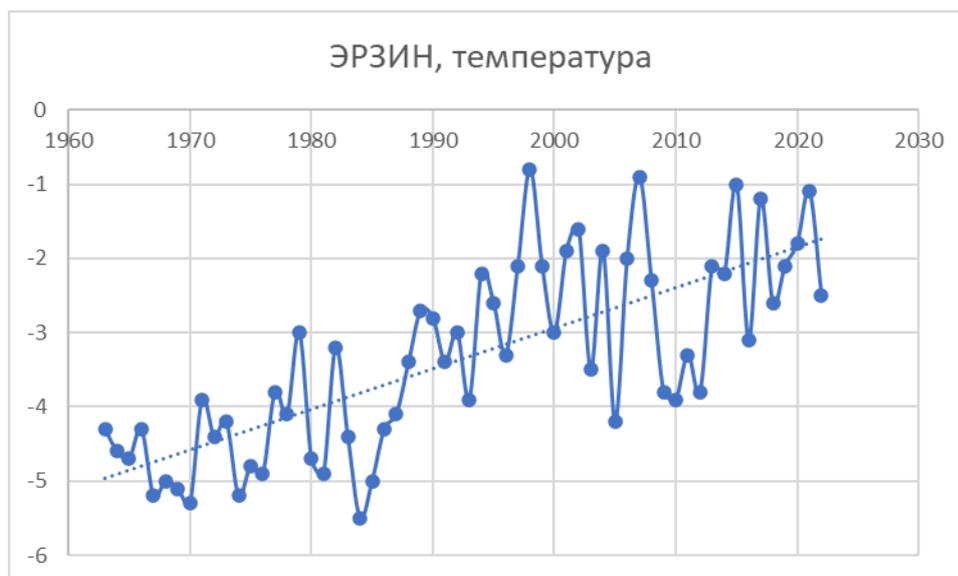


Рис. 3.3.1 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Кызыл с 1943 по 2022г.

На данных графиках при помощи метода визуального анализа можно предположить отсутствие точек бифуркации, так как общая динамика климатообразующих факторов не наблюдает резких скачков: среднегодовые температуры постепенно возрастают, а годовые суммы осадков остаются неизменными.

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Эрзин за 1963 по 2022г.



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Эрзин за 1963 по 2022г.



Рис. 3.3.2 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Эрзин за 1963 по 2022г.

Временной тренд среднегодовой температуры воздуха, построенный на основе данных метеостанции Кызыл и Эрзин, также указывает на стабильное возрастание температуры с течением десятилетий. Значения

годовых сумм осадков тоже повышаются, в отличие от отсутствия изменений вышеуказанного параметра на станции Баево. Визуально точек бифуркации не найдено.

Рассмотрим ещё одну пару временных рядов и временных трендов. Для этого возьмём графики с метеостанции Чадан:

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Чадан за 1963 по 2022г.



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Эрзин за 1963 по 2022г.



Рис. 3.3.3 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Чадан за 1963 по 2022г.

Тенденция повышения среднегодовых температур из года в год сохраняется. Отмечается ее постепенное возрастание. Годовые суммы атмосферных осадков наоборот имеют тенденцию к снижению. Это объясняется особенностями рельефа, на которых расположены рассматриваемые метеостанции.

Был произведен поиск возможных точек бифуркации, а также оценка значимости. Для этого разделения были проверены на значимость путём сравнения критерия Фишера с критическим значением по заданной формуле:

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Туран за 1963 по 2022г.



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Туран за 1963 по 2022г.

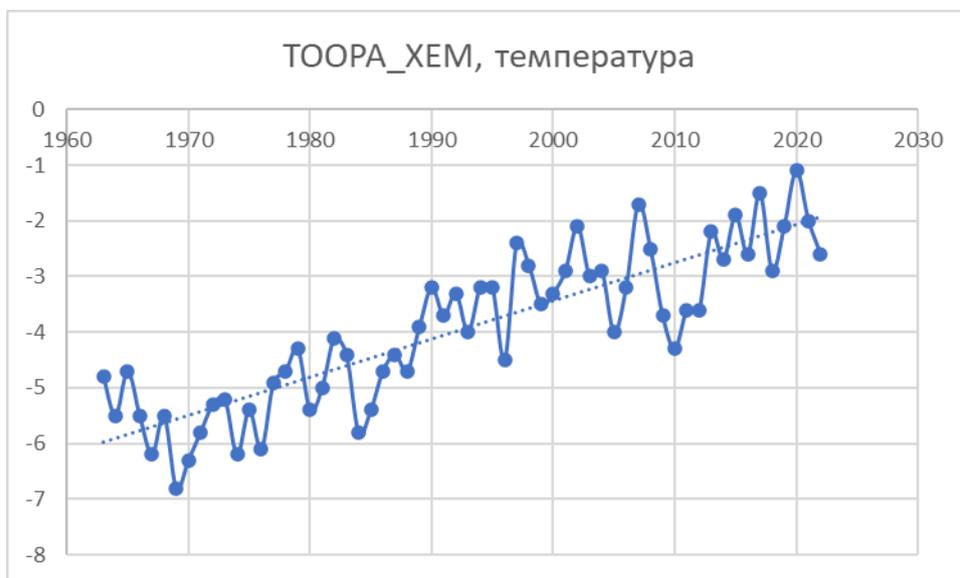


Рис. 3.3.4 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Туран за 1963 по 2022г.

Временной тренд среднегодовой температуры воздуха станции Туран умеренно стабильный. С 1963 отмечалось стабильное повышение среднегодовой температуры воздуха на протяжении десятилетий, а с начала 2000х годов на протяжении 4 лет резкое понижение, и далее снова

планомерное повышение среднегодовой температуры воздуха. Осадки умеренно стабильные.

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Тоора-Хем за 1963 по 2022г.



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Тоора-Хем за 1963 по 2022г.

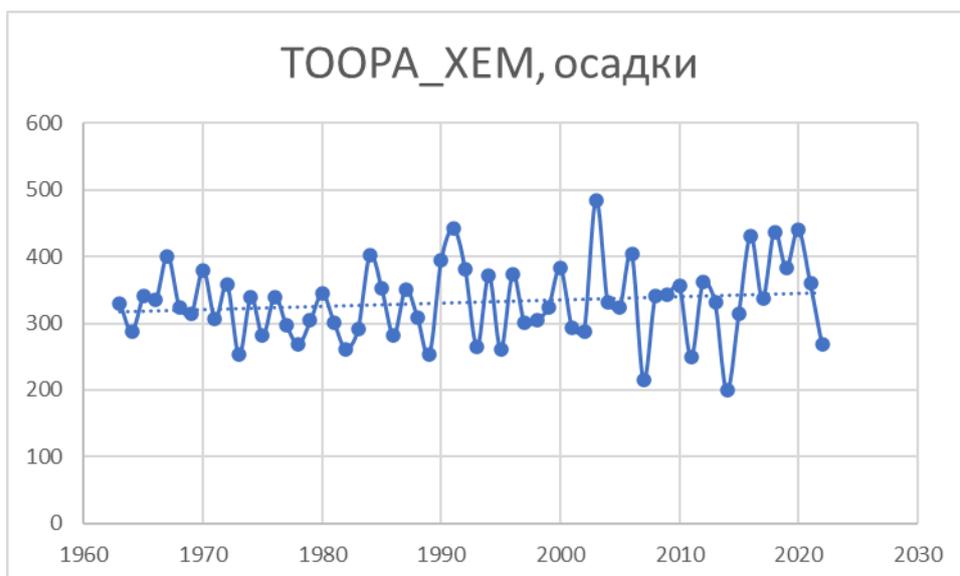
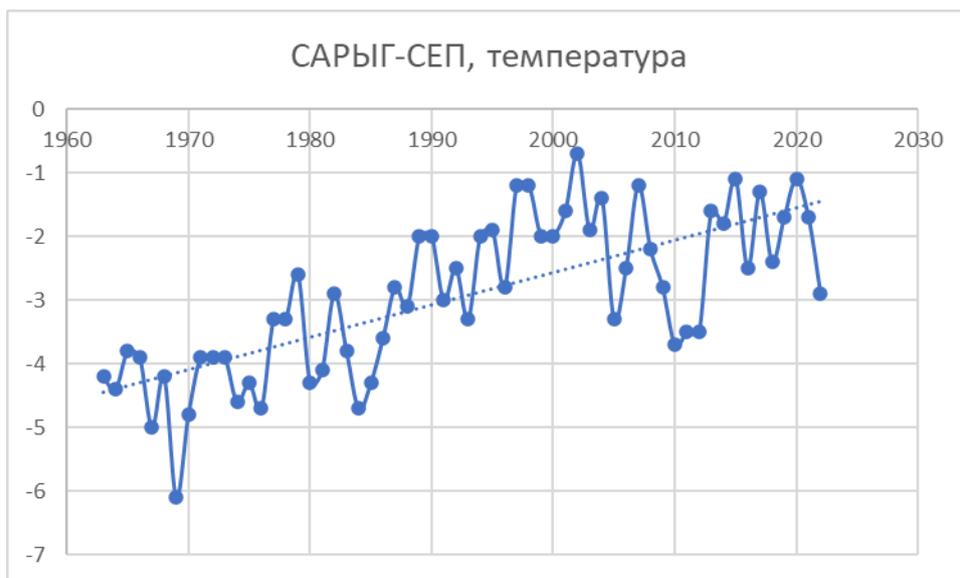


Рис. 3.3.5 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Тоора-Хем за 1963 по 2022г.

Отмечается стабильное возрастание среднегодовой температуры с 1963 по 2022г. Осадки приблизительно в одном диапазоне.

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Сарыг-Сеп за 1963 по 2022г.



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Сарыг-Хем за 1963 по 2022г.

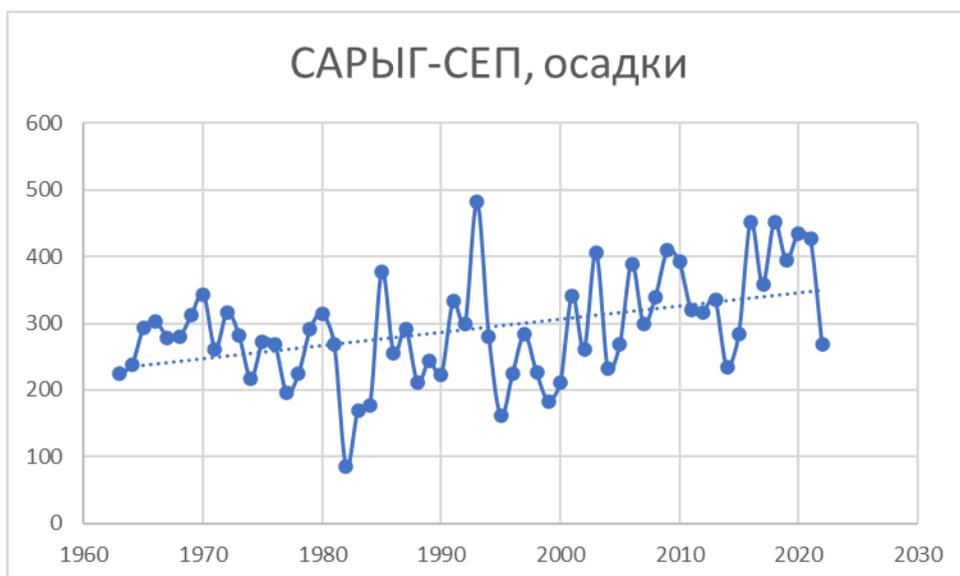
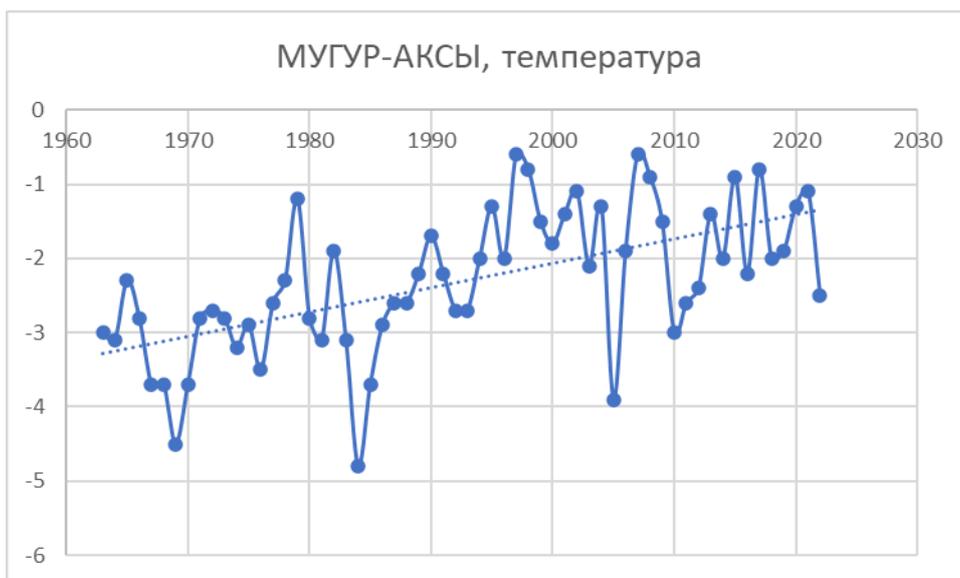


Рис. 3.3.6 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Сарыг-Хем за 1963 по 2022г.

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Мугур-Аксы за 1963 по 2022г.



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Мугур-Аксы за 1963 по 2022г.

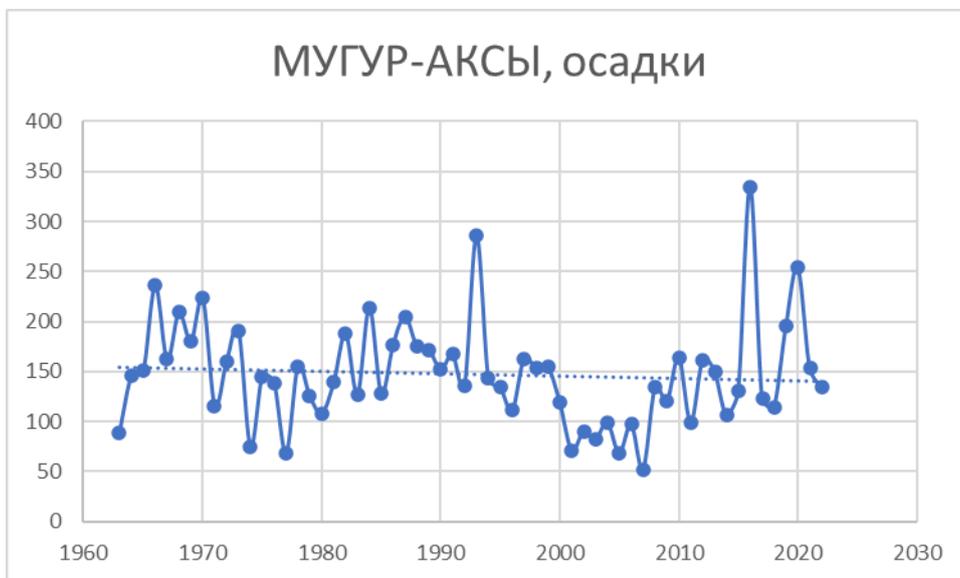


Рис. 3.3.7 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Мугур-Аксы за 1963 по 2022г.

Временной ряд среднегодовой температуры воздуха на станции Сосновка за 1964 по 2022г.



Временной ряд годовых сумм осадков на станции Сосновка за 1964 по 2022г.

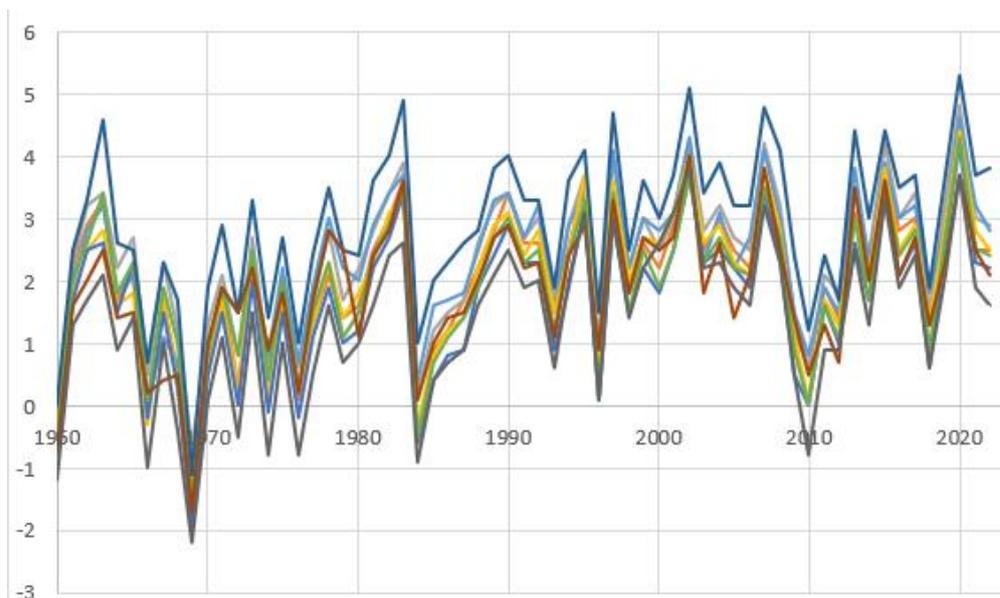


Рис. 3.3.8 Временные ряды среднегодовых температур и годовых сумм осадков на метеостанции Сосновка за 1963 по 2022г.

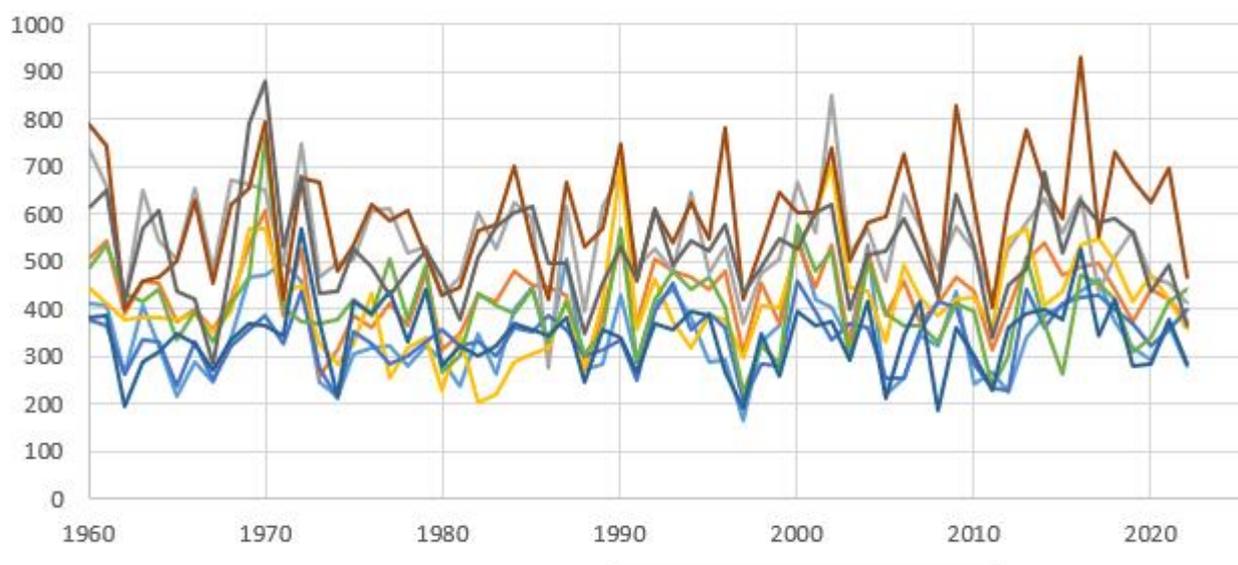
Анализируя среднегодовые температуры воздуха станций Тоора-Хем, Сарыг-Сеп, Мугур-Аксы, Сосновка, приходим к выводу, что временной

тренд температуры с 1963 продолжает стабильно расти по настоящее время. Значения осадков умеренно повышаются.

Далее был взят общий график всех метеостанций по среднегодовым температурам:



А также составлен общий график по осадкам:



Анализ полученных трендов для каждой из станций показал постепенное и стабильное возрастание среднегодовой температуры Алтайского края.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был исследован и проанализирован климатический режим Республики Тыва. Поставленные задачи и цели выпускной квалификационной работы были выполнены.

Был сформирован архив данных о климатообразующих факторах метеостанций, находящихся на территории Республики Тыва, по среднегодовым температурам воздуха и годовым суммам осадков за период с 1963 по 2022 года. В связи с тем, что имелись пропуски в летописях погоды по некоторым станциям, из 12 метеостанций было решено оставить и проанализировать информацию и данные по 10 метеостанциям. Их распределение по территории оказалось достаточно равномерным по региону. Были восстановлены пропуски на основании построения регрессионных уравнений. Длина продолжительных рядов достаточная для относительно точного анализа климата на территории Республики Тыва.

После восстановления пропусков в специальной программе MapInfo была создана карта с нанесёнными на неё используемыми в работе метеостанциями и характеристиками, являющимися климатообразующими факторами (среднегодовая температура и годовая сумма осадков). После этого была осуществлена пространственная интерполяция изменчивости климатических характеристик данного региона.

По завершению формирования данных был проведён расчет временных рядов и построены временные тренды. Расчётное значение критериев Фишера для каждой из станций получилось меньше критического как для годовых сумм осадков, так и для среднегодовых температур. На основе проведённого исследования отмечено, что динамика климата Республики Тыва стабильна. Вероятнее всего, что при сохранении ныне имеющихся условий температура воздуха может продолжить возрастать, а количество

осадков может меняться зависимости от рельефа, который формирует отдельные микроклиматы внутри региона.

Была отмечена тенденция, что временной тренд среднегодовой температуры воздуха, построенный на основе данных метеостанций Республики Тыва, указывает на стабильное возрастание температуры с течением десятилетий. Годовые суммы атмосферных осадков наоборот имеют тенденцию к снижению.

Список используемых источников

- 1) Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 568 с.
- 2) В. А. Лобанов. Учебное пособие по региональной климатологии. – Л.: Гидрометеоздат, 2020. – 171 с.
- 3) В.А.Лобанов, И.А.Смирнов, А.Е.Шадурский Практикум по климатологии 1 часть.-СПб: Гидрометеоздат, 2011.-129 с
- 4) В.А.Лобанов, И.А.Смирнов, А.Е.Шадурский Практикум по климатологии 2 часть.-СПб: Гидрометеоздат, 2012.-142 с
- 5) Н. Ф. Белов, В.А.Васильев Практикум по климатологии. Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 208 с
- 6) Физические основы теории климата и его моделирования. Труды Международной научной конференции, организованной ВМО и МСНС при поддержке программы ООН по окружающей среде. Стокгольм, 29 июля – 10 августа 1974. Л.: Гидрометеоздат, 1977 – 271 с
- 7) Сапожникова С.А. Микроклимат и местный климат. Л.: Гидрометеоздат, 1950. – 242 с
- 8) Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е Алгоритм поиска момента смены тренда во временных рядах метеорологических величин. – Л.: Гидрометеоздат, 2019. – 89 с.
- 9) Самбуу А.Д. География и ландшафты Тувы. К.: Изд-во ТувГУ, 2018. – 115 с
- 10) Шактаржик К.О. География Республики Тыва. – Кызыл: Тувинск. книж. изд-во, 1993. – 128 с.
- 11) MapInfoProfessional. Руководство пользователя (полное). – MapInfoCorporation, Troy, NewYork, 2003.
- 12) Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. - СПб: изд. РГГМУ, 2008. 408с.

- 13) Справочно-информационный портал "Погода и климат" сайт pogodaiklimat.ru
- 14) Бондарев А.И. Рекомендации по адаптации сельского хозяйства Республики Тыва к изменению климата
- 15) Куулар Х. Б. Мониторинг потепления климата в Республике Тыва по данным наблюдений // Естественные и технические науки. — 2016. — № 12. — С. 153–157.
- 16) Канзываа, С. О. Динамика климата в Республике Тыва за 2010–2020 гг. / С. О. Канзываа, А. Э. Сат, А. В. Хуурак. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2021. — № 5 (347). — С. 237-240.
- 17) Куулар Х.Б. Особенности климата Республики Тыва во второй половине XX и в XXI вв. // Метеорология и гидрология. — 2015. — № 1. — С. 51–57.