



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 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 «Температурный режим Ирана и его изменения»

Исполнитель Снеткова Маргарита Витальевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА  
(ученая степень, ученое звание)

Лобанов Владимир Алексеевич

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

30 05 2019 г.

Санкт-Петербург

2019

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                       | 3  |
| ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА<br>ИССЛЕДОВАНИЯ                                       |    |
| 1.1 Географическое описание района .....                                                             | 6  |
| 1.2 Климатические особенности региона .....                                                          | 7  |
| 1.3 Расположение пунктов и продолжительность рядов наблюдений.....                                   | 14 |
| ГЛАВА 2. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СОБРАННЫХ ДАННЫХ                                                   |    |
| 2.1 Восстановление пропусков в рядах собранной информации.....                                       | 17 |
| 2.2 Оценка нестационарности и однородности данных.....                                               | 25 |
| 2.3 Оценка года ступенчатого роста температур.....                                                   | 29 |
| ГЛАВА 3. ОЦЕНКА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ<br>СОВРЕМЕННОГО РОСТА ТЕМПЕРАТУРЫ .....             | 33 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                     | 41 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                              | 42 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Архив исходных данных с заполненными пропусками для<br>каждого пункта наблюдений ..... | 44 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Таблица с данными о средней температуре воздуха в Иране<br>.....                       | 92 |

## ВВЕДЕНИЕ

Многолетние колебания температуры во многом связаны с глобальными факторами, которые в настоящее время не полностью определены, и также не в полной мере изучены закономерности их изменчивости во времени. В связи с этим, встает вопрос о поиске новых закономерностей, по которым протекают процессы большого масштаба на длительных промежутках времени.

Необходимо также глубокое исследование их характеристик с целью выявления региональных закономерностей и получения прогностических рекомендаций для заблаговременного предупреждения о возможном развитии аномальных процессов, как в далекой перспективе, так и на коротких периодах времени.

Современное изменение температуры поверхности Земли объясняется таким явлением, как глобальное потепление. Глобальное потепление — процесс постепенного роста средней температуры поверхностного слоя атмосферы Земли и Мирового океана. Причины этому могут быть разные: повышение концентрации парниковых газов в атмосфере («парниковый эффект»), изменение солнечной и вулканической активности и т.д. Об этой проблеме современного мира впервые заговорили в 1960гг., а на уровне ООН проблему глобального изменения климата впервые озвучили в 1980 году.

Парниковый эффект на нашей планете вызван тем, что поток энергии в инфракрасном диапазоне спектра, поднимающийся от поверхности Земли, поглощается молекулами газов атмосферы, и излучается обратно в разные стороны, в результате чего большая часть поглощенной молекулами парниковых газов энергии возвращается обратно к поверхности Земли, вызывая её разогрев. Следует заметить, что парниковый эффект является естественным атмосферным явлением. Если бы в атмосфере земли не было парниковых газов и не было бы парникового эффекта, то средняя температура на нашей планеты была бы около  $-21^{\circ}\text{C}$ , но благодаря им она составляет  $+14^{\circ}\text{C}$ . [1, 2, 3]

Существующие технологии позволяют достоверно судить об имеющихся место климатических изменениях. Учёные при обосновании своих теорий климатических изменений используют следующие методы:

- анализ исторических летописей и хроник;
- систематические метеорологические наблюдения;
- спутниковые измерения площади ледяного покрова, растительности, климатических зон и атмосферных процессов;
- анализ древних льдов Арктики и Антарктиды (отношение изотопов  $O_{16}$  и  $O_{18}$ );
- анализ осадочных океанических пород и отложений рек;
- наблюдение за морскими течениями Земли;
- измерение скорости таяния ледников и вечной мерзлоты, скорости и интенсивность образования айсбергов;
- наблюдение за химическим составом атмосферы и океана;
- наблюдение за изменениями ареалов (мест обитания) живых организмов;
- анализ палеонтологических (останки древних животных и растений) и археологических данных;
- анализ годовых колец деревьев.

Палеонтологические данные свидетельствуют о том, что климат Земли не был постоянным. Периоды потеплений, сменялись холодными ледниковыми. В тёплые периоды среднегодовая температура Арктических широт поднималась до  $7 - 13^{\circ}\text{C}$ , а температура самого холодного месяца января составляла 4-6 градусов, что близко к климатической норме субтропических и тропических широт. [4, 5, 6]

Для того, чтобы иметь возможность оценить все факторы, влияющие на изменения климата на Земле, ученые ищут новые пути выявления закономерностей, ведущим к этим изменениям, чтобы иметь возможность в

дальнейшем предупреждать неблагоприятные сценарии для человечества и планеты в целом.

Данное исследование проводилось для оценки климатической изменчивости температуры воздуха на территории Ирана, чтобы оценить современное изменение температуры воздуха.

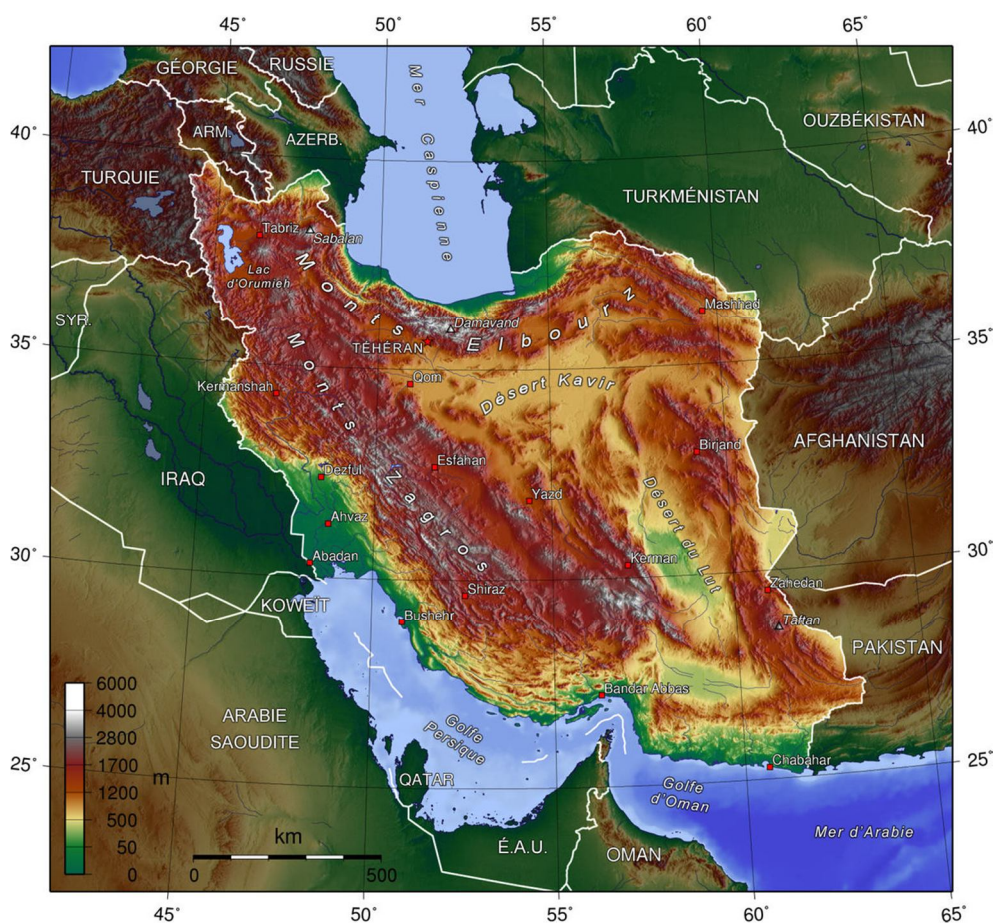
Целью данной работы является: расчёт климатического изменения температуры воздуха в приземном слое на территории Ирана.

Задачи, которые необходимо выполнить в данной работе: придать описанию эту территорию и ее климатические особенности; восстановить ряды с пропущенными данными и оценить эффективность восстановления; проверить выборки на однородность и стационарность и оценить возможность дальнейшей работы с этими данными.

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Географическое описание района

Иран расположен в юго-западной Азии на пересечении границ Ближнего и Среднего Востока. С севера омывается Каспийским морем, с юга — Персидским и Оманским заливом. По суше Иран граничит с семью государствами: Азербайджан, Армения, Афганистан, Ирак, Пакистан, Туркменистан, Турция; а также делит акваторию Каспийского моря с Россией и Казахстаном, Персидского залива — с Кувейтом, Саудовской Аравией, Катаром, Бахрейном и Объединенными Арабскими Эмиратами, Оманского залива — с Оманом. По площади территории (1 648 000 км<sup>2</sup>) Иран занимает 17-е место в мире.



### Рис. 1.1 Физическая карта Ирана

Основная часть территории страны приподнята над уровнем моря на высоту 1200 м за счет Иранского нагорья. Его образуют массивные плато, горные цепи и межгорные котловины. За гористой местностью расположены только узкие полосы береговых низменностей, вытянутых вдоль побережий Каспийского моря, Персидского и Оманского заливов. На западе территории находятся горы Загрос, а на востоке - Восточно-Иранские горы, на севере – Эльбрус, на юге – Макрана.

Только низины: Гиляна, Мазендерана, Голестана на севере, и Хузестан на юго-западе, расположены на высоте менее 900 м над уровнем моря.

Из-за засушливого климата и гористого рельефа Иран не обладает достаточными водными ресурсами. В стране лишь одна судоходная река — Карун. Крупнейшее озеро — Урмия, расположено на северо-западе Ирана. Однако, Иран богат полезными ископаемыми, в особенности углеводородами. Страна обладает третьим в мире по объему запасом нефти, вторым — природного газа, а также крупными запасами угля, железной руды, марганца и цинка. [7, 8]

### 1.2 Климатические особенности региона

Климат большей части Ирана субтропический, континентальный, характеризуется засушливостью и резкими колебаниями температур. На побережье Персидского и Оманского заливов климат тропический. Для всей страны, за исключением каспийского побережья и прибрежной низменности на юге, типичны суровые зимы. Достаточно осадков получают только высокогорные районы Загроса и побережье Каспийского моря.

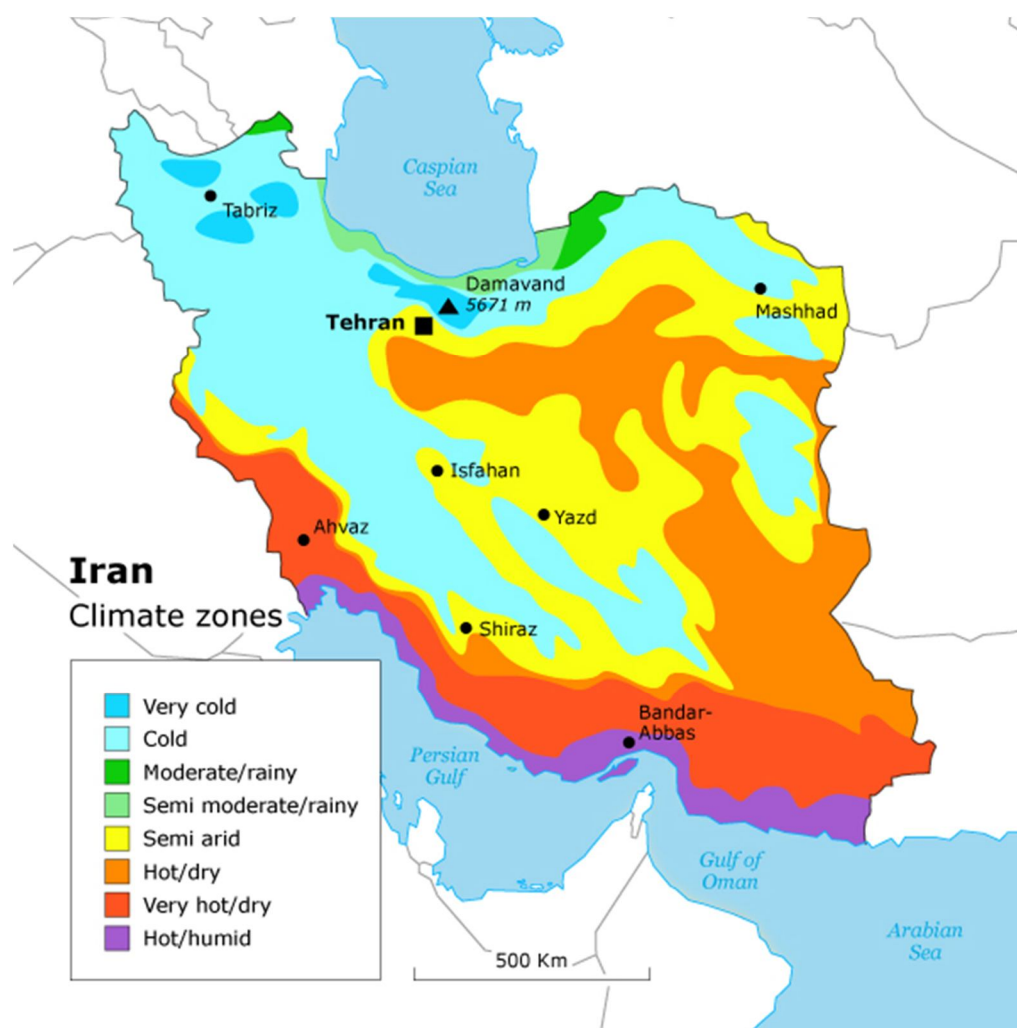


Рис. 1.2. Карта климатических зон Ирана.

Лето повсеместно жаркое со средними месячными температурами от  $27^{\circ}$  до  $32^{\circ}$  C. Дневные температуры нередко достигают  $32\text{--}38^{\circ}$  C, ночью они понижаются до  $16\text{--}21^{\circ}$  C. Выше 1500 м над у.м. воздух прогревается значительно меньше.

Наиболее выражены различия в температурном режиме между северной и южной частями страны зимой. На севере, кроме прикаспийской полосы, зимы холодные и снежные, на юге они мягкие и теплые. Средние январские температуры составляют в Тегеране  $2^{\circ}$ , Тебризе  $8^{\circ}$ , Ахвазе  $12^{\circ}$ , Ширазе  $9^{\circ}$ , Джаске  $19^{\circ}$ , Бехаре  $19^{\circ}$  C. Ночные заморозки отмечены на всей территории Ирана к северу от  $27^{\circ}$  с.ш. Абсолютный минимум температуры



зафиксирован в Тебризе ( $-28^{\circ}$  C). На юге дневные температуры зимой изменяются от умеренных до теплых, а ночью понижаются на  $11-14^{\circ}$ . [9]

Большая часть территории Ирана дефицит осадков. Как правило, летом дожди не выпадают в течение 2–3 месяцев, а в отдельные годы – и на протяжении 7 месяцев подряд. Исключение составляют высокогорные районы Северного Загроса, наветренные склоны Эльбурса и гор Иранского Азербайджана и побережье Каспийского моря, получающие 650–1650 мм осадков в год, причем их сумма резко сокращается на подветренных склонах и в юго-восточном направлении. Годовая норма осадков в Тегеране 250 мм, Мешхеде 280 мм, Исфахане 130 мм, Джаске 130 мм, Захедане 100 мм. Таие осадки выпадают только в холодные месяцы– с ноября по март.

Зимой на севере Ирана и в высокогорьях на юге осадки выпадают преимущественно в виде снега. В Эльбурсе и Загросе выше 1200 м над у.м. снег лежит в течение 4–5 месяцев, а в наиболее защищенных местах сохраняется до июня. В Тегеране мощность снежного покрова, который держится на протяжении 2–3 недель, составляет около 0,5 м. Снег играет важную роль в экономической жизни страны. Его медленное таяние позволяет пополнять запасы воды, необходимые для орошения. В южной части Ирана выпадают главным образом жидкие осадки, как правило в виде сильных ливней, в течение 6–30 дней зимой.

Летом Иран находится в области южно-азиатского центра действия атмосферы (циклона), в результате чего к нему устремляются два мощных потока, один с северо-запада (главным образом атлантический и европейский воздух умеренного пояса), другой — с юго-запада (теплый и влажный экваториальный воздух с Индийского океана). Северо-западный поток за время перемещения к Иранскому нагорью из морского трансформируется в континентальный жаркий и сухой воздух. Движение этой воздушной массы особенно выражено в виде постоянных сильных летних северо-западных ветров, среди которых особенно известный

«шемал» на побережье Персидского залива, дующий из Месопотамии, и так называемый «bad-e sad o bist ruz» (120-дневный ветер), проникающий вглубь нагорья через проходы в северных окраинных горах и достигающий больших скоростей (более 30 м/с). Также для территории Ирана характерны пыльные смерчи, нередко пыльные бури. [10, 11]

По месяцам погодные условия на территории Ирана изменяются следующим образом:

- В январе на территории Ирана фиксируются минусовые температуры на севере и северо-западе (до  $-8^{\circ}\text{C}$ ), в то время как в центральной части до  $+8^{\circ}\text{C}$ . Температура воды в заливах Индийского океана  $+20+24^{\circ}\text{C}$ , в Каспийском море максимум  $+7^{\circ}\text{C}$ . Часты осадки в виде дождя или мокрого снега;
- В феврале наблюдается повышение температур до  $+14^{\circ}\text{C}$  в центре Ирана. В горах сохраняются минусовые температуры. Уровень осадков сохраняется;
- В марте в районе в центральной части Ирана воздух прогревается до  $+17^{\circ}\text{C}$ . Случаются туманное утро, иногда идут дожди с грозами и град;
- Средняя температура днем в апреле около  $+20^{\circ}\text{C}$ . Вода в заливах Индийского океана прогревается до  $+26^{\circ}\text{C}$ . Уровень осадков снижается, дожди, если и выпадают, то в ночное время;
- В мае температура держится на уровне  $+26^{\circ}\text{C}$ , и только на равнинной территории, поднимается выше  $+30^{\circ}\text{C}$ ;
- На побережьях заливов в июне температура остается на уровне  $+26^{\circ}\text{C}$ , в то время как в центральной равнинной части страны она достигает значений  $+36^{\circ}\text{C}$ . В заливах вода прогревается до  $+26+29^{\circ}\text{C}$ ;
- В июле начинается самый жаркий период – днем температуры редко ниже  $+36^{\circ}\text{C}$ . В горах температура составляет  $+25^{\circ}\text{C}$ . Осадки минимальны;

- В августе средняя температура днем около  $+36^{\circ}\text{C}$ . В Каспийском море вода  $+26^{\circ}\text{C}$ , в заливах – до  $32^{\circ}\text{C}$ ;
- В сентябре температура остается на прежнем уровне. Начинают выпадать осадки;
- В октябре резко холодает. Днем до  $+22+25^{\circ}\text{C}$ , большие перепады между дневной и ночной температурой воздуха (разность дневной и ночной температур может составлять  $14^{\circ}\text{C}$ ). В горных районах температура опускается до отрицательных значений. Т.к. вода более инертна, чем воздух она начинает остывать позже, поэтому с этого месяца температура воды в заливах остается на уровне  $26^{\circ}\text{C}$ ;
- В ноябре днем в среднем по стране около  $+15^{\circ}\text{C}$ . Часто наблюдаются осадки;
- В декабре ночью наблюдаются отрицательные температуры, днем максимум  $+8^{\circ}\text{C}$ , на юге страны – до  $+15^{\circ}\text{C}$ . Осадки выпадают преимущественно в виде мокрого снега. [11, 12]

Для составления региональных архивов данных мной были выбраны 13 точек в пределах страны, и, чтобы дополнить данные – две эквивалентных точки за ее пределами, т.к. в этой области Ирана нет метеостанций. Пустыни Деште-Кавир и Деште-Лут, - необитаемы. Поэтому там не проводятся метеорологические измерения. В итоге получилось 15 пунктов наблюдений, по которым и проводились следующие исследования:

- Ахваз (Ahvaz) – имеет аридный климат (BWh – пустынный климат с очень жарким летом согласно классификации климата Кёппен-Гейгера). Температура здесь в среднем  $24.9^{\circ}\text{C}$ . В год выпадает около 215 мм осадков.
- Ашхабад (Ashhabad) – территория Туркменистана. Преобладает семиаридный климат. Климат здесь классифицируется как BSk - климат степей с прохладным летом - системой Кёппен-Гейгера. Средняя годовая

температура составляет 15.4°C. Среднее количество осадков в год составляет 228 мм.

- Бам (Bam) – пустынный климат. Этот климат считается BWh в соответствии с классификацией климата Кёппен-Гейгера. Среднегодовая температура в Баме составляет 21,7 ° C. Осадки здесь составляют в среднем 72 мм.

- Бендер-Аббас (Bandar-Abbas) –имеет субтропический пустынный / низкоширотный засушливый жаркий климат (BWh по классификации Кёппен-Гейгера). Среднегодовая температура 27.2 °C. Среднегодовое кол-во осадков 171 мм.

- Бехшехр (Bushehr) – климат теплый и умеренный. Зимние месяцы намного дождливее, чем летние. Климатическая классификация Кёппен-Гейгера - Csa (климат умеренно тёплый с сухим и жарким летом (средиземноморский)). Температура здесь составляет в среднем 17,3 ° C. За год среднее количество осадков составляет 522 мм.

- Бирдженд (Birjand) – пустынный климат. По системе Кёппена-Гейгера, климат классифицируется как BWk. Среднегодовая температура составляет 17,0 ° C. Среднегодовое количество осадков составляет 129 мм.

- Дживани (Jivani) – территория Пакистана. Теплый, умеренный климат, считается Cfa (умеренно тёплый с равномерным увлажнением и жарким летом) в соответствии с классификацией Кёппен-Гейгера. Среднегодовая температура составляет 12,9°C. Среднегодовое количество осадков составляет 434 мм.

- Исфahan (Isfahan) – аридный климат, классифицируется как BWk (пустынный с прохладным летом) системой Кёппен-Гейгера. Средняя температура воздуха составляет 15.6°C. Среднее количество осадков в год составляет 125 мм.

- Мешхед (Mashhad) – холодный полусухой степной климат По классификации Кёппена-Гейгера, этот климат выделяется как BSk. Температура здесь составляет в среднем 13,5 ° С. Среднегодовое количество осадков составляет 251 мм.

- Сенендедж (Sanandaj) – теплый и умеренный климат. Этот климат считается Csa в соответствии с классификацией климата Кёппен-Гейгера. Среднегодовая температура составляет 12,8 ° С. Среднегодовое количество осадков составляет 492 мм.

- Шираз (Shiraz) – климат степей. Классификации климата по Кёппен-Гейгеру - BSk. Среднегодовая температура в городе Шираз - 16.8 °С. В год выпадает около 316 мм осадков.

- Тебрис (Tabriz) – холодный степной климат (BSk по классификации Коппенё-Гейгера). Средняя температура в Тебризе составляет 11,6 ° С. Среднегодовое количество осадков составляет 318 мм.

- Тегеран (Tehran) – степной климат. Климат здесь классифицируется как BSk системой Кёппен-Гейгера. Среднегодовая температура в Тегеране составляет 16,4° С. Среднегодовое количество осадков составляет 220 мм.

- Йезд (Yazd) – полусухой пустынный климат. В Йезде в течение года практически нет осадков. Климатическая классификация Кёппен-Гейгера – BWk – пустынный климат с прохладным летом. Среднегодовая температура составляет 18,9 ° С. Ежегодно выпадает около 55 мм осадков.

- Захедан (Zahedan) – жаркий сухой пустынный климат (BWh в соответствии с классификацией климата Кёппен-Гейгера) Температура здесь составляет в среднем 18,2 ° С. Среднегодовое количество осадков составляет 105 мм. [13,14]

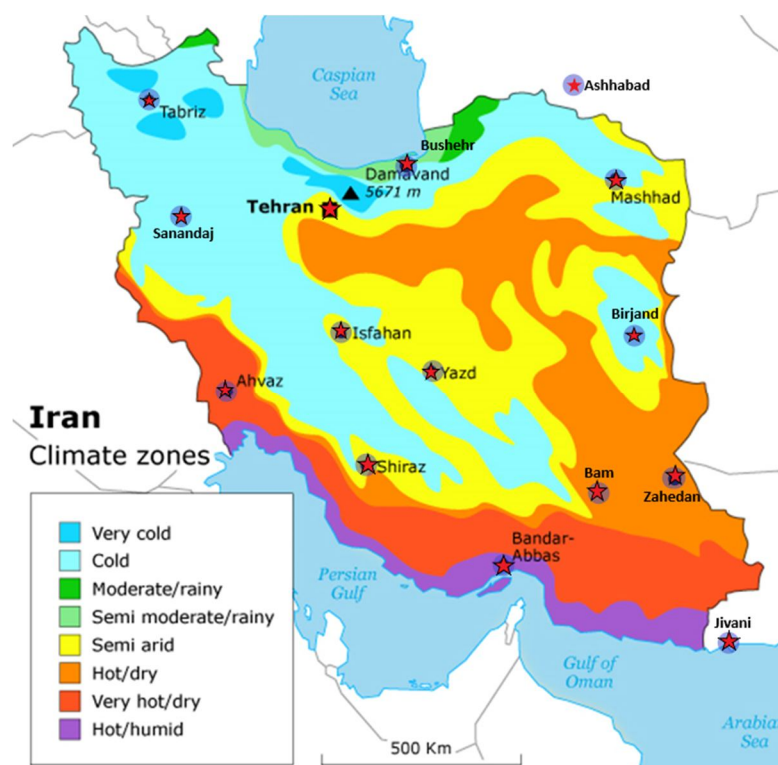


Рис.1.3. Карта климатических зон Ирана с дополнительно отмеченными пунктами наблюдения, используемых в последующих исследованиях.

### 1.3 Расположение пунктов и продолжительность рядов наблюдений

Для пространственно-временного анализа климатических изменений температуры воздуха на территории Ирана было выбрано 15 метеостанций, расположение которых показано на рис. 1.4

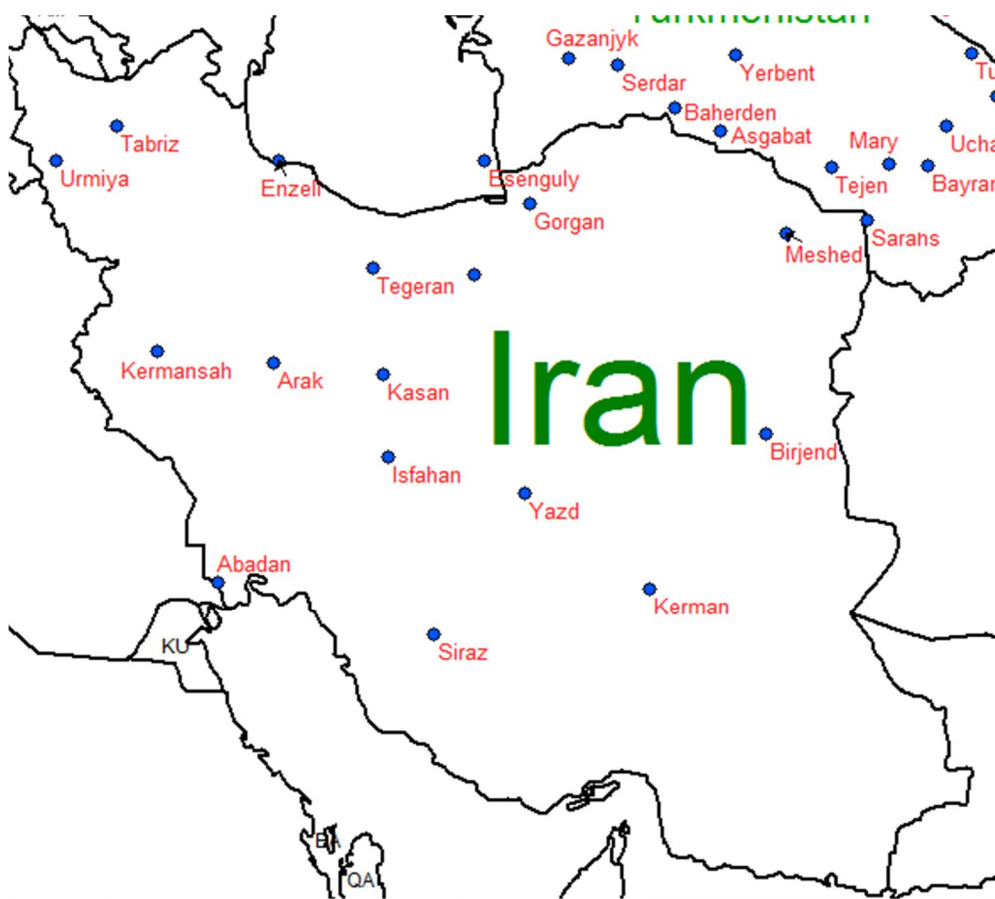


Рис.1.4. Расположение метеостанций на территории Ирана

Как мы видим из рисунка на территории Ирана метеорологические станции, на которых производились наблюдения за температурой воздуха, расположены равномерно. Название метеостанций, их коды и координаты местонахождения и периоды наблюдений приведены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1- Координаты метеорологических станций и периоды наблюдений за температурой

| N станции | Name         | Период (г-г) | Количество | $\lambda$ | $\varphi$ |
|-----------|--------------|--------------|------------|-----------|-----------|
| 40811     | Ahvaz        | 1971-2007    | 37         | 48,7      | 31,30     |
| 38880     | Ashhabad     | 1892-2018    | 127        | 58,38     | 37,95     |
| 40854     | Bam          | 1961-2000    | 40         | 58,357    | 29,11     |
| 40875     | Bandar-Abbas | 1972-2011    | 40         | 56,28     | 27,19     |
| 40857     | Bushehr      | 1878-2007    | 130        | 50,8      | 28,95     |
| 40809     | Birjand      | 1971-2014    | 44         | 59,3      | 32,90     |
| 41756     | Jivani       | 1938-2018    | 81         | 61,6      | 25,00     |
| 40800     | Eshafan      | 1951-2018    | 68         | 51        | 32,00     |
| 40745     | Mashhad      | 1906-2018    | 113        | 59        | 36,00     |
| 40747     | Sanandaj     | 1971-2012    | 42         | 47        | 35,24     |
| 40848     | Shiraz       | 1951-2018    | 68         | 52        | 29,00     |
| 40706     | Tabriz       | 1963-2018    | 56         | 46,29     | 38,08     |
| 40754     | Tegran       | 1951-2018    | 68         | 51        | 35,00     |
| 40821     | Yazd         | 1961-2014    | 54         | 54        | 31,00     |
| 40856     | Zahedan      | 1971-2018    | 48         | 60        | 29,00     |

Воспользовавшись архивами сервиса «Climate Explorer», был собран архивы данных среднемесячной и среднегодовой температуры по выбранным пунктам и по Ирану в целом.

В среднем, все измерения в определенных пунктах начинаются с середины XX-го века. Однако, по некоторым пунктам удалось найти информацию о температуре с конца XIX-го века. Все эти данные имеют разрывы, особенно примечателен разрыв в измерениях станций Ирана в 1980-1990г.г., вызванный Ирано-Иракской войной и революцией внутри страны.



## ГЛАВА 2. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СОБРАННЫХ ДАННЫХ

### 2.1 Восстановление пропусков в рядах собранной информации

В ряде случаев процедура восстановления пропусков в данных является обязательным элементом анализа, например, если исследователь сознательно планирует контролируемые пропуски в данных. В рядах температуры, чтобы правильно оценить ее климатическое изменение необходимо было выполнить восстановление некоторых значений, чтобы дополнить ряды с недостающими данными.

Согласно классификации Литтла и Рубина, в данных могут встречаться:

- 1) полностью случайные пропуски;
- 2) случайные пропуски;
- 3) неигнорируемые пропуски.

Последний тип пропусков, наиболее сложный для анализа и восстановления, он в данной работе не рассматривается.

С полностью случайными пропусками понимается случай, когда пропуски случайно распределены в массиве данных по всем переменным. Их наличие можно проверить статистически с помощью критерия Стьюдента (t-критерий) или критерия Пирсона ( $\chi^2$ ). Если наблюдается незначимый уровень критерия (когда расчётное значение меньше критического), то мы имеем дело с полностью случайными пропусками данных.

Случайные пропуски данных встречаются тогда, когда пропуски в массиве данных случайно распределены не по всем переменным, а только внутри каких-либо определенных подгрупп переменных.

Для борьбы с этими видами пропусков применяют восемь основных методов:

- 1) анализ полных наблюдений;
- 2) методы, использующие доступную информацию;
- 3) подстановка среднего по выборке;
- 4) метод хот-дек;
- 5) модель множественного восстановления данных;
- 6) оценка с помощью максимизации правдоподобия;
- 7) подстановка с помощью факторного анализа;
- 8) регрессионный анализ.

Каждый из этих методов стоит рассмотреть кратко, чтобы иметь представления об их различиях и особенностях.

Смысл метода анализа полных наблюдений заключается в удалении всех респондентов с пропущенными данными. При определении сложных моделей с большим числом переменных этот метод может привести к большому объему исключенных наблюдений, в ряде случаев до двух третей исходного массива данных.

В методах, использующих доступную информацию, переменные для наблюдений с пропущенными значениями не включаются в проводимый анализ по необходимости. Например, корреляции между каждой парой переменных вычисляются из наблюдений, которые для этих переменных содержат допустимые значения, что позволяет использовать больший объем доступной информации по сравнению с анализом полных наблюдений. Применение этих способов целесообразно, если пропуски в данных распределены полностью случайно.

Суть метода подстановки среднего по выборке понятна из его названия: вместо пропусков подставляется среднее значение по данной переменной. Метод видоизменяет изначальное распределение, делая его

более смещенным к среднему значению и уменьшает дисперсию. Как следствие, из-за подстановки среднего по выборке систематически недооцениваются вариации переменных. Этот способ дает лучшие результаты, чем методы, основанные на исключении наблюдений, однако он также ведет к смещенным результатам.

Метод хот-дек (hot-deck) имеет ряд модификаций. Наиболее простой вариант из возможных — сортировка рядов по ключевым переменным, тогда ряды, похожие своими включенными величинами находятся рядом друг с другом. В качестве ключевых используются переменные, имеющие корреляции с переменной с пропущенными данными. При восстановлении пропущенные значения переменной заимствуются из предыдущего наблюдения. В отдельных модификациях хот-дек ряды сортируются для каждого признака при помощи разных наборов переменных для предупреждения взаимозависимостей между восстанавливаемыми значениями. Наиболее продвинутой модификацией считается хот-дек со случайным отбором значений из категории схожих выборок: все имеющиеся выборки делятся на категории по ключевым переменными и внутри каждой подгруппы данные для замены пропущенных значений отбираются случайным образом, но с тем же распределением, что и все значения в каждом классе. Главным недостатком метода хот-дек является наличие взаимосвязей между восстановленными значениями и занижение значений дисперсии. Снизить уровень зависимости до незначимых величин возможно лишь при очень большом числе категорий, что подразумевает большие объемы выборок.

Метод максимизации правдоподобия предназначен специально для работы с недостающей информацией на больших выборках. Идея метода основана на допущении, что то, что «случилось» в исследовании, то и должно было произойти, то есть реализовались события, наиболее вероятные в исследуемой системе и, одновременно, наиболее

соответствующие применяемому инструменту исследования. Поэтому, все неизвестные данные, которые необходимо восстановить, надо искать таким образом, чтобы они как можно лучше согласовывались с уже имеющимися данными в базе данных. Тогда оценки пропущенных данных и будут «наиболее правдоподобными». Процесс итераций состоит из двух шагов. Первым шагом является вычисление ожидаемых значений вероятности математического ожидания для всех данных на основе условного распределения пропущенных значений относительно наблюдаемой информации и текущих оценок интересующего нас параметра из предыдущей итерации. На втором шаге максимизируется конечная функция для получения новых оценок параметра. После определенного набора итераций этих двух шагов решение с некоторой точностью приходит к локальному максимуму логистической вероятности математического ожидания наблюдаемых значений. Использование метода максимизации правдоподобия приводит к снижению дисперсии и риску смоделировать шум.

Метод подстановки значений с помощью факторного анализа был разработан сравнительно недавно, в самом конце XX века была предложена модификация алгоритма факторного анализа при наличии большого числа пропущенных данных. Метод основан на предположении, что все факторы можно вычислить на основе известных, наблюдаемых значений переменных.

Суть метода множественного восстановления данных заключается в том, чтобы одновременно генерировать несколько значений пропущенной величины вместо того, чтобы заменять пропущенную информацию одним значением. Не ограничиваясь однократным вычислением ожидаемого (среднего) значения для пропущенной информации, можно случайным образом подставить значения, вычисленные на основе предсказанного распределения переменной. Для практического использования всех восстановленных таким образом

данных генерируются наборы баз данных с различными вариантами подстановок пропущенных данных. Метод многократной подстановки включает несколько этапов. На первом этапе необходимо выбрать модель, с помощью которой будут предсказываться пропущенные значения. На втором этапе производится несколько вариантов подстановки значений, при этом для каждого варианта генерируется своя база данных с набором восстановленных данных. [14, 16]

Для восстановления данных ряда температур в данном исследовании был использован метод регрессионного анализа с помощью уравнений линейной регрессии. Данный метод заключается в том, что на базе наблюдений, не содержащих пропущенных данных (X), вычисляются коэффициенты регрессии, и далее с их помощью восстанавливается пропущенное значение зависимой переменной (Y). Коэффициенты линейной регрессии определяются по следующим формулам:

$$Y = k_0 + k_1X,$$

где

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

$$k_0 = Y_{cp} - k_1X_{cp}.$$

Уравнение линейной регрессии имеет ряд проблем, таких как мультиколлинеарность, что подразумевает линейную взаимосвязь двух или нескольких объясняющих переменных, которая может проявляться в функциональной (явной) или стохастической (скрытой) форме, гомоскедастичность - однородная вариативность значений наблюдений, выражающаяся в относительной стабильности, гомогенности дисперсии случайной ошибки регрессионной модели, «проблема выбора переменных», возникающая в тех случаях, когда приходится иметь дело с

пространным перечнем независимых X-переменных и необходимо решить, какие из этих переменных следует включать в уравнение регрессии, то можно обозначить две проблемы, связанные с её использованием для восстановления пропущенных данных.

Во-первых, из-за самой природы регрессии полностью исключаются случайные колебания величин. Это проявляется в том, что при одинаковом наборе значений независимых переменных мы будем подставлять в разные наблюдения одни и те же восстановленные значения. Это ведет к тому, что при большой доле пропущенных значений становится очень заметным смещение результатов по направлению к средним оценкам. Для борьбы с этим используется метод случайной подстановки, при котором к вычисленному значению прибавляются случайные величины, например, из набора остатков уравнений регрессии на полных наборах данных.

Во-вторых, используя в уравнение регрессии слишком большой набор независимых переменных, мы рискуем моделировать шум вместо каких-то осмысленных значений переменных.

Восстановленные данные имеют систематически заниженную дисперсию. Исключение систематической смещенности дисперсии восстановленных данных осуществляется путем введения поправки в восстановленные значения метеорологической характеристики, в результате которой несмещенные восстановленные величины определяются по следующей формуле:

$$Q'_i = \frac{Q_i - \overline{Q_n}}{R} + \overline{Q_n},$$

где  $Q_i$ - значения метеорологических характеристик, рассчитанные по уравнению регрессии;  $\overline{Q_n}$  - среднее значение приводимого ряда за совместный с пунктом-аналогом период.

Получить восстановленное значение важно, но недостаточно. Вторым аспектом восстановления является оценка его эффективности. Для оценки эффективности восстановленных значений был разработан ряд показателей:

-количество восстановленных лет (абсолютное  $dn$  и относительное  $dn'$ , измеряемое в процентах  $dn' = \frac{N-n}{n} * 100\%$ ).

-отношение дисперсии восстановленных значений к дисперсии наблюдаемых значений (критерий Фишера), характеризующее однородность восстановления:

$$F = \sigma_{\text{восст}}^2 / \sigma_{\text{набл}}^2$$

где  $\sigma_{\text{восст}}^2$  – дисперсия восстановленных значений, а  $\sigma_{\text{набл}}^2$  – дисперсия наблюдаемых значений. Критерий  $F$  сравнивается с критическим, и если его значение меньше, то гипотеза однородности дисперсий принимается.

-критерий Стьюдента для оценки однородности среднего восстановленных значений по отношению к среднему наблюдаемых данных

$$t = (Y_{\text{ср восст}} - Y_{\text{ср набл}}) / \sqrt{n_{\text{восст}} \sigma_{\text{восст}}^2 + n_{\text{набл}} \sigma_{\text{набл}}^2} \\ * \sqrt{\frac{n_{\text{восст}} n_{\text{набл}} (n_{\text{восст}} + n_{\text{набл}} - 2)}{n_{\text{восст}} + n_{\text{набл}}}}$$

Где  $Y_{\text{ср}}$ - средние величины восстановленных и наблюдаемых рядов,  $n$ - количество восстановленных лет и наблюдаемых лет,  $\sigma^2$ - дисперсии восстановленных и наблюдаемых значений. [15, 18, 19]

При этом следует отметить, что два последних показателя оценки однородности средних и дисперсий имеют значение в том случае, если число наблюдаемых и восстановленных данных примерно одинаковое.

Показатели эффективности восстановления были рассчитаны для каждого месяца в каждом пункте наблюдений и можно сделать следующие выводы:

- 1) Было рассчитано абсолютное и относительное количество восстановленных лет в каждом месяце в каждом пункте, для удобства представления месячные данные были осреднены, т.е. в каждом пункте наблюдения в каждом месяце в среднем приходилось восстанавливать данное количество лет.

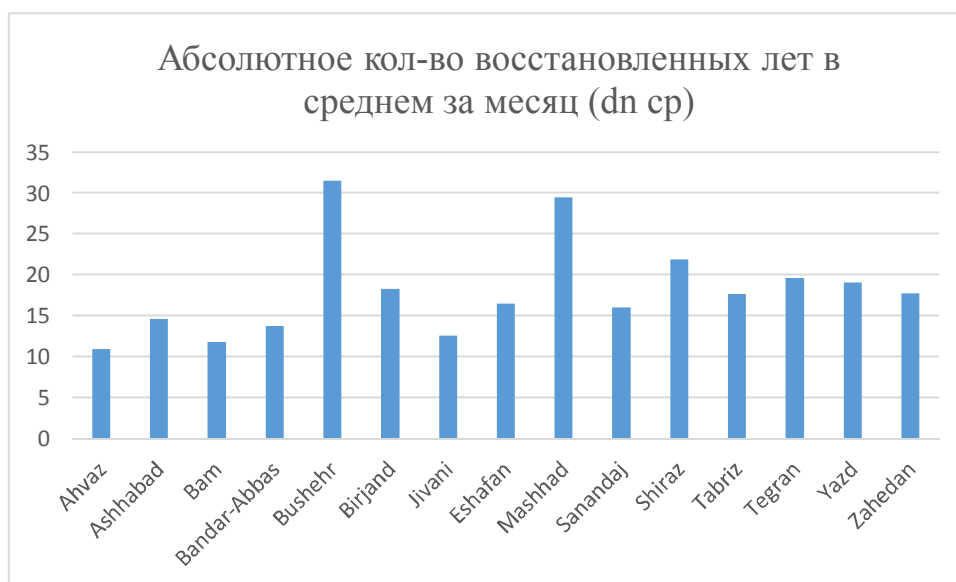


Рис. 2.1- Гистограмма распределения абсолютного количества восстановленных лет в каждом пункте наблюдений.

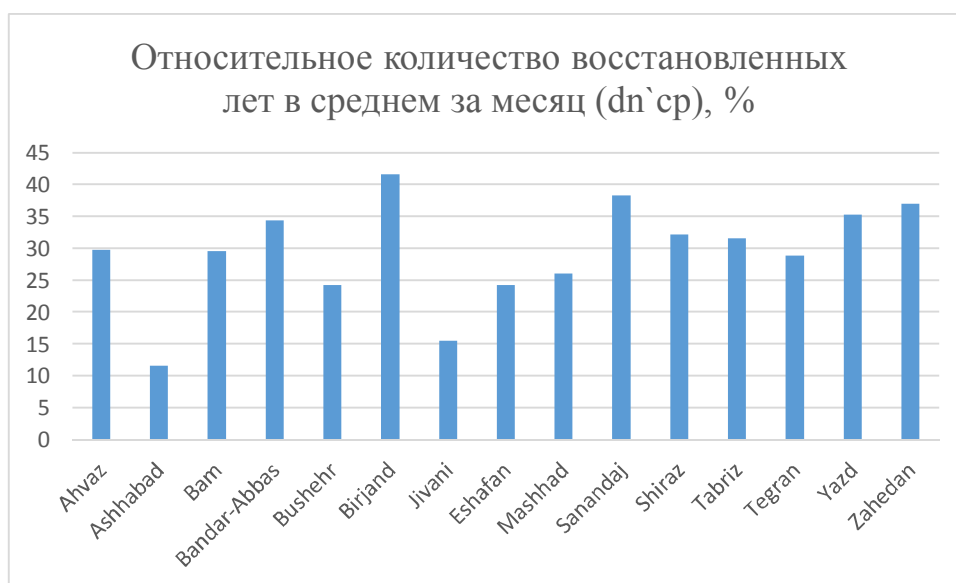


Рис. 2.2- Гистограмма распределения относительного количества лет восстановления в каждом пункте наблюдений.



- 2) Также для каждого месяца в каждом пункте наблюдений были рассчитаны критерии Фишера и Стьюдента для оценки однородности дисперсий и оценки однородности средних восстановленных и наблюдаемых данных. В 100% случаев рассчитанный критерий Фишера был меньше табличного критического значения, а критерий Стьюдента в 86% случаев. По данным критериям можно сказать, что гипотеза об однородности дисперсий и средних наблюдаемых и восстановленных рядов принимается, что позволяет проводить над этими данными дальнейшее исследование.

## 2.2 Оценка нестационарности и однородности данных

Прежде чем анализировать полученные данные, необходимо проверить их статистическую значимость и дальнейшую целесообразность климатических исследований. Основными требованиями к полученным данным является однородность выборки, что является характеристикой принадлежности случайной величины к «генеральной совокупности» и стационарность во времени среднего значения и дисперсии.

Сперва, данные полученные в процессе сбора информации подверглись на проверку однородности эмпирических распределений метеорологических характеристик. Однородность ряда может нарушаться из-за резко отклоняющихся от других максимальных и минимальных значений. Оценка однородности рядов наблюдений за метеорологическими характеристиками осуществляется на основе генетического и статистического анализа исходных данных наблюдений.

Генетический анализ заключается в том, что выявляются физические причины, которые влекут за собой неоднородность исходных данных. Для оценки статистической значимости однородности применяются критерии, рассчитываемые в зависимости от максимальных и минимальных значений в

эмпирическом распределении: критерии Смирнова-Граббса и Диксона. Неоднородность выборки говорит о том, что в данных заложена одна из следующих ее причин: резко отклоняющиеся метеорологические величины имеют особые условия формирования, например, сформированы тайфунами, ураганами и т.д., экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем та, которая определяется по эмпирической формуле для короткого ряда наблюдений при включении экстремума в общую последовательность наблюдений, резко отклоняющаяся величина обусловлена значительной погрешностью измерений.

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

Последовательность оценки однородности состоит в том, что вначале резко отклоняющиеся от эмпирического распределения экстремумы проверяются по статистическим критериям, и в случае отклонения гипотезы однородности устанавливается ее причина на основе генетического анализа.

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

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

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

$$D2_n = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_2)$$

$$D3_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_2)$$

$$D4_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_3)$$

$$D5_n = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_1)$$

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

$$D1_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_n)$$

$$D2_1 = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{n-1})$$

$$D3_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-1})$$

$$D4_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-2})$$

$$D5_1 = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_n)$$

По этим формулам были рассчитаны следующие значения критерия Диксона для рядов температур воздуха в Иране:

Таблица 2.1- Критерии Диксона для максимальных членов ряда.

|    | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D1 | 0,06 | 0,04 | 0,08 | 0,13 | 0,04 | 0,16 | 0,02 | 0,04 | 0,18 | 0,01 | 0,07 | 0,09 |
| D2 | 0,07 | 0,05 | 0,09 | 0,13 | 0,04 | 0,16 | 0,02 | 0,05 | 0,19 | 0,01 | 0,08 | 0,10 |
| D3 | 0,10 | 0,05 | 0,11 | 0,16 | 0,08 | 0,19 | 0,03 | 0,06 | 0,19 | 0,04 | 0,09 | 0,14 |
| D4 | 0,11 | 0,05 | 0,11 | 0,17 | 0,09 | 0,20 | 0,03 | 0,07 | 0,20 | 0,04 | 0,10 | 0,15 |
| D5 | 0,09 | 0,04 | 0,11 | 0,16 | 0,08 | 0,19 | 0,03 | 0,06 | 0,19 | 0,04 | 0,08 | 0,14 |

Таблица 2.2- Критерии Диксона для минимальных членов ряда.

|    | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D1 | 0,15 | 0,17 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,01 | 0,11 | 0,12 | 0,06 |
| D2 | 0,15 | 0,18 | 0,04 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,01 | 0,11 | 0,13 | 0,07 |
| D3 | 0,19 | 0,20 | 0,06 | 0,05 | 0,12 | 0,09 | 0,03 | 0,12 | 0,04 | 0,13 | 0,16 | 0,08 |
| D4 | 0,20 | 0,20 | 0,06 | 0,05 | 0,13 | 0,09 | 0,03 | 0,12 | 0,04 | 0,13 | 0,17 | 0,08 |
| D5 | 0,18 | 0,19 | 0,05 | 0,04 | 0,12 | 0,07 | 0,03 | 0,11 | 0,03 | 0,13 | 0,15 | 0,07 |

Расчётные значения характеристик сравниваются с табличными критическими значениями, если  $D_{расч} < D_{крит}$ , то гипотеза об однородности может быть принята с вероятностью 95%, т.к. для этих данных был задан уровень значимости 5%, и наоборот. В данном исследовании все рассчитанные критерии Диксона оказались меньше критических, а значит гипотеза об однородности рядов принимается.

Критерии Смирнова-Граббса также рассчитываются для максимального и минимального членов ранжированного по возрастанию ряда. Для максимального члена ряда критерий рассчитывается по формуле:

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

для минимального:

$$G_1 = (Y_{cp} - Y_1)/\sigma_Y, \text{ где}$$

$$Y_{cp} = \sum Y_i / n,$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\sum (Y_i - Y_{cp})^2 / (n - 1)}.$$

По данным формулам были рассчитаны следующие значения этого критерия:

Таблица 2.3- Критерии Смирнова-Граббса для максимального ( $G_n$ ) и минимального ( $G_1$ ) членов ряда.

|       | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $G_n$ | 2,40 | 1,99 | 2,77 | 3,01 | 2,51 | 3,24 | 2,50 | 2,44 | 2,99 | 2,49 | 2,32 | 2,66 |
| $G_1$ | 3,39 | 3,21 | 2,21 | 1,85 | 2,52 | 2,09 | 1,66 | 2,29 | 1,79 | 2,87 | 2,83 | 2,82 |

Критерии Смирнова-Граббса, так же, как и критерии Диксона, сравниваются с критическими табличными значениями и все  $G_n > G_{\text{крит}}$ , что опять говорит нам о том, что гипотеза об однородности может быть принята с вероятностью 95%. [18, 19]

### 2.3 Оценка года ступенчатого роста температур

На любом рассматриваемом интервале времени структура временного ряда может быть представлена двумя основными видами моделей: стационарной и нестационарной.

В стационарной модели основные параметры временного ряда, такие как среднее значение и дисперсия являются неизменными во времени (стационарными). Для такой ситуации можно рассчитывать среднее значение за многолетний период наблюдений, которое является климатической нормой. Даже в условиях современного изменения климата принято, что на отдельных небольших отрезках временного ряда колебания климатических характеристик являются квазистационарными.

Однако, помимо случайных флуктуаций во временных рядах климатических характеристик могут иметь место и нестационарные составляющие, обусловленные влиянием факторов климатической системы с большими временными масштабами. Механизм ступенчатых характеризует неравновесную систему, которая определенное время может нейтрализовать направленные внешние воздействия или сопротивляться им до тех пор, пока их суммарный эффект не переведет систему на новый уровень. [16, 18]

В исследовании В.А. Лобанова и С.А. Маммедова «Оценка климатических изменений температуры воздуха и их устойчивости на территории Центральной Азии» было выявлено, что для большей части территории Ирана наиболее эффективной и преобладающей моделью является нестационарная модель, поэтому для оценки современного роста температуры в данном районе была выбрана модель ступенчатых измерений. [20]

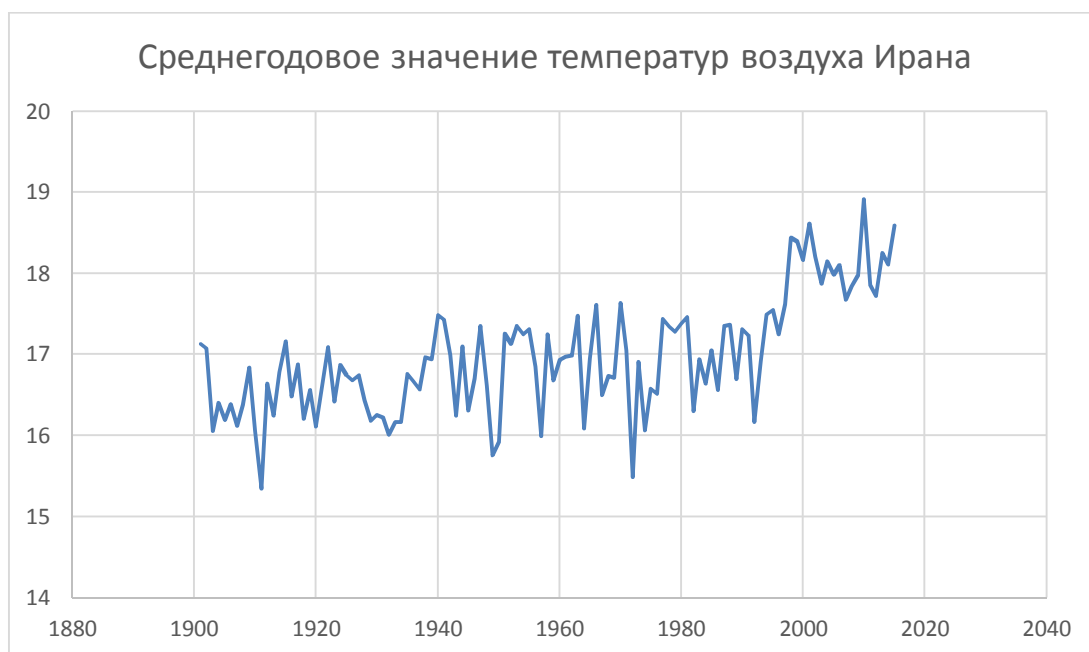


Рис. 2.3- График хода среднегодовой температуры воздуха на территории Ирана.

Год ступенчатого роста температуры определялся итерациями, проводимыми до достижения минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда, но его также можно определить и визуально.

$$\sigma_1^2 * (n_1 - 1) + \sigma_2^2 * (n_2 - 1) = \min,$$

где  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  – дисперсии, а  $n_1, n_2$  – объемы каждой из двух частей временного ряда.

Визуальное исследование данных и анализ распределения  $\sigma^2$  дает несколько моментов ступенчатого роста температуры, а именно: 1960 и 1990 годы.

Но т.к. не все ряды включают в свои пределы 1960 г. единственным моментом ступенчатого перехода был выбран 1990г.

Рассчитав климатическую норму до и после ступенчатого перехода я смогла дополнить график среднегодового хода температуры воздуха в Иране моделью ступенчатых изменений, по которой можно оценить разницу между климатической нормой до ступенчатого перехода и после него:

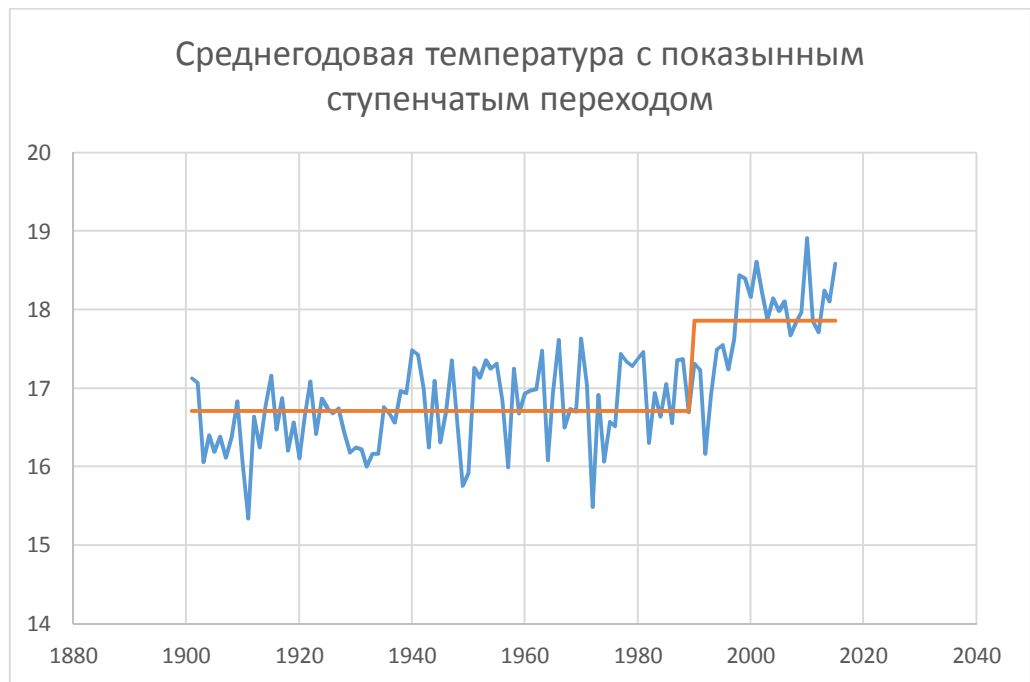


Рис. 2.2- График хода среднегодовой температуры с отмеченной климатической нормой до момента ступенчатого перехода в 1990г и после.



### ГЛАВА 3. ОЦЕНКА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО РОСТА ТЕМПЕРАТУРЫ

Для оценки климатического изменения температуры воздуха в каждом пункте наблюдений была рассчитана климатическая норма до и после даты ступенчатого перехода, которой, как было установлено ранее является 1990г. Климатическая норма определялась, как среднее значение данного временного интервала:

$$\overline{t_i} = \frac{\sum x_i}{n},$$

где n- количество лет измерений до или после 1990г.

Изменение температуры рассчитывалось, как

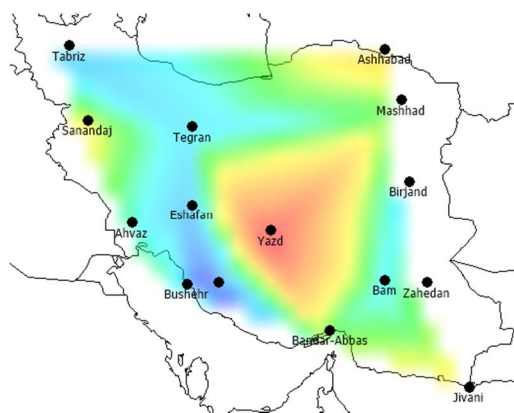
$$dt = \overline{t_{\text{после 1990}}} - \overline{t_{\text{до 1990}}}.$$

По данным формулам была сформирована таблица Таблица 3.1. «Ежемесячные значения изменения температуры в пунктах наблюдения и их средние значения», по которой в геоинформационной системе «MapInfo» строилось пространственное распределение изменения температуры, представленные на рисунках 3.1-3.12.

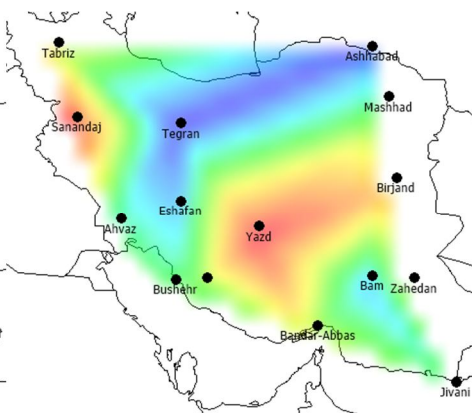
Таблица 3.1- Ежемесячные значения изменения температуры в пунктах наблюдения и их средние значения (в заданной точке и среднемесячная величина)

| Name         | I     | II    | III   | IV    | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII   | Ср.год dt |
|--------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-----------|
| Ahvaz        | 0,37  | 0,76  | 0,67  | 0,46  | 1,66 | 1,25 | 1,23 | 1,94 | 1,01 | 1,53 | 0,14  | 0,51  | 0,96      |
| Ashhabad     | 0,85  | -0,01 | 1,08  | 1,38  | 0,47 | 1,21 | 0,93 | 0,72 | 0,60 | 0,96 | 1,50  | 0,86  | 0,88      |
| Bam          | 0,27  | 0,36  | -0,84 | 0,10  | 0,38 | 0,51 | 0,92 | 0,89 | 0,76 | 0,07 | 0,81  | 0,48  | 0,39      |
| Bandar-Abbas | 0,53  | 1,30  | 0,56  | 0,39  | 1,33 | 1,16 | 0,43 | 1,04 | 0,88 | 1,18 | 0,39  | 0,55  | 0,81      |
| Bushehr      | 0,39  | 0,90  | 0,71  | 0,79  | 0,93 | 1,22 | 1,09 | 0,81 | 0,62 | 0,68 | 0,34  | 0,32  | 0,73      |
| Birjand      | 0,23  | 1,72  | 1,00  | 0,09  | 1,01 | 0,80 | 1,85 | 1,64 | 1,23 | 0,90 | 0,04  | -0,06 | 0,87      |
| Jivani       | 0,74  | 0,79  | 0,81  | 0,65  | 0,79 | 0,35 | 0,58 | 0,68 | 0,59 | 1,20 | 0,62  | 0,75  | 0,71      |
| Eshafan      | -0,03 | 0,31  | 0,18  | 0,43  | 1,38 | 1,94 | 1,13 | 1,11 | 0,53 | 0,71 | 0,60  | 0,36  | 0,72      |
| Mashhad      | 0,47  | 0,91  | 1,05  | 0,56  | 0,51 | 1,15 | 1,16 | 1,41 | 1,13 | 0,04 | 0,93  | 0,76  | 0,84      |
| Sanandaj     | 0,76  | 2,52  | 1,16  | -0,17 | 0,59 | 0,54 | 0,35 | 0,80 | 0,91 | 1,18 | -0,34 | 1,05  | 0,78      |
| Shiraz       | -0,75 | 0,91  | 0,74  | 0,78  | 1,37 | 2,32 | 1,20 | 1,64 | 0,02 | 0,37 | 0,24  | 0,24  | 0,75      |
| Tabriz       | -0,01 | 1,41  | 1,27  | 0,61  | 1,40 | 1,89 | 1,16 | 1,32 | 0,41 | 0,26 | 0,44  | 0,20  | 0,86      |
| Tegran       | 0,16  | -0,04 | 1,13  | 0,71  | 0,88 | 1,43 | 1,35 | 1,09 | 0,62 | 0,76 | 1,06  | 0,50  | 0,80      |
| Yazd         | 1,55  | 2,41  | 1,33  | 0,19  | 0,98 | 1,11 | 1,69 | 1,26 | 1,44 | 1,23 | 0,59  | -0,07 | 1,14      |
| Zahedan      | 0,47  | 1,07  | 0,29  | 0,08  | 0,44 | 0,74 | 1,07 | 0,86 | 0,76 | 0,48 | 0,14  | -1,47 | 0,41      |

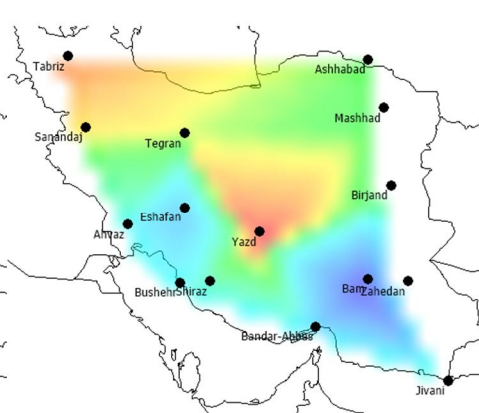
Январь



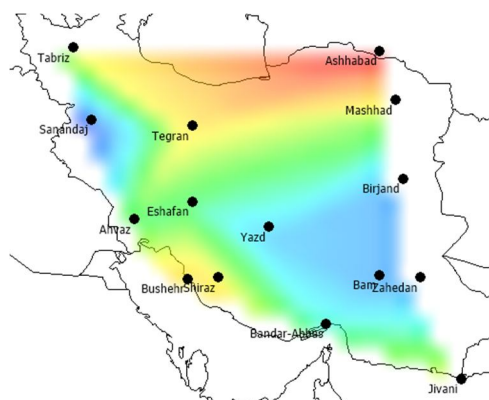
Февраль



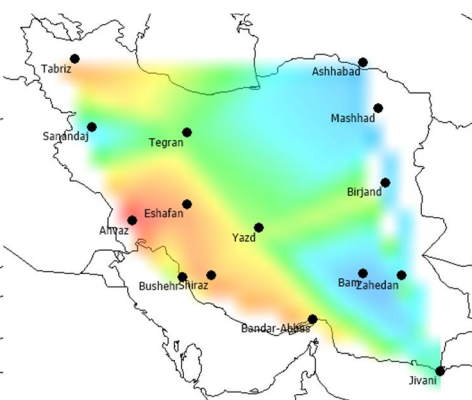
Март



Апрель



Май



Июнь

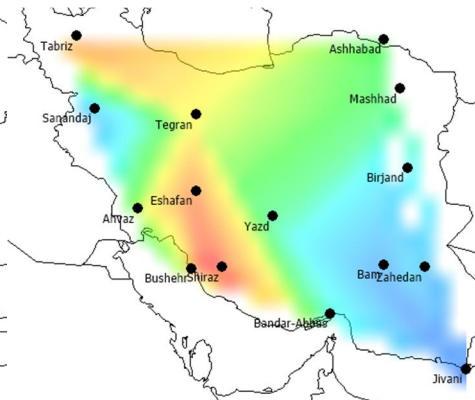
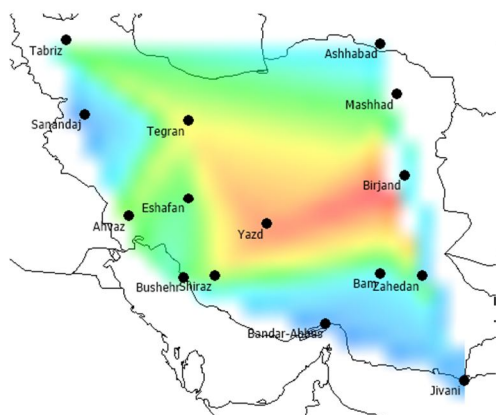
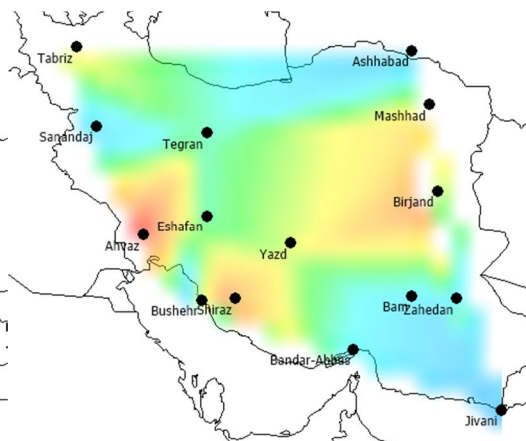


Рис. 3.3 - 3.6 - Пространственное распределение изменения температуры воздуха в первом полугодии (январь-июнь).

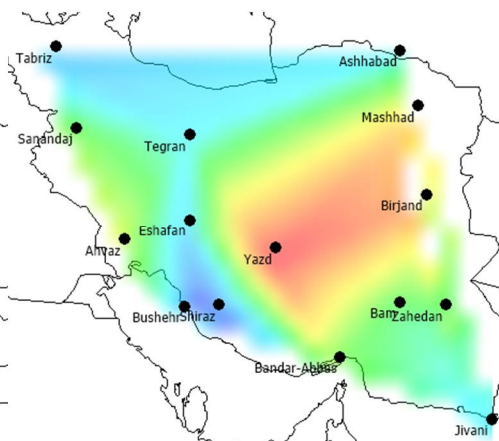
Июль



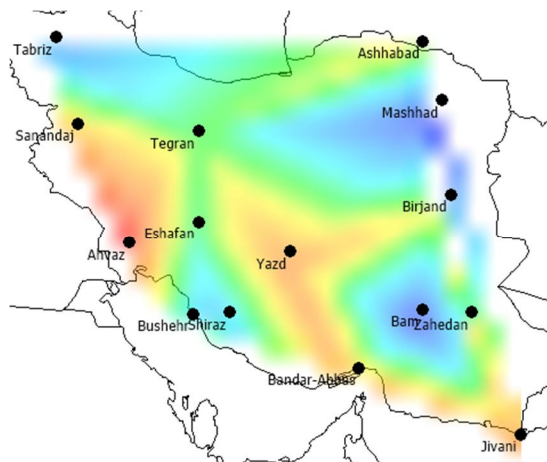
Август



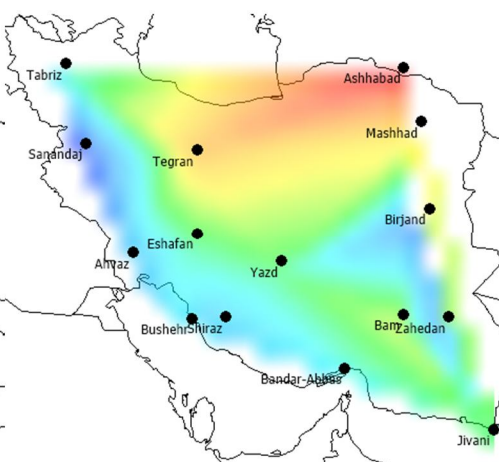
Сентябрь



Октябрь



Ноябрь



Декабрь

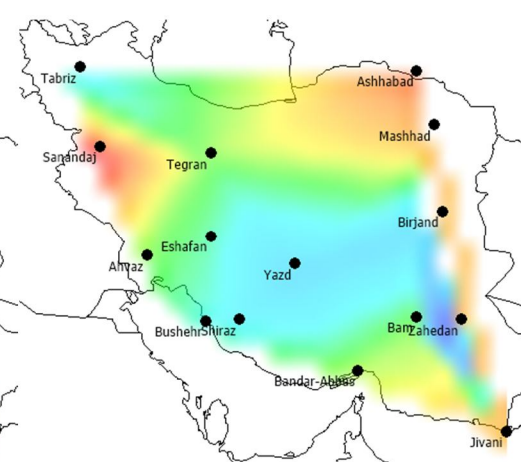


Рис. 3.7 - 3.12 - Пространственное распределение изменения температуры воздуха во втором полугодии (июль-декабрь).

Проведенный анализ пространственных распределений  $\Delta t$  за разные месяцы с позволил выявить следующие закономерности:

- в январе наибольший прирост температуры наблюдается в области пустыни Деште-Лут, в центре которой находится пункт наблюдений Yazd (Йезд),  $dt=+1,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а уменьшение климатической нормы ( $dt = -0,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) – горным районам, высота над уровнем моря которых выше 1200 м, в особенности горной цепи Загрос.
- в феврале наибольшие значения  $dt$  уже проявляются в 2х зонах- это также район пустыни Деште-Лут ( $dt= +2,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), и район города Sanandaj (Сенендедж), где  $dt$  достигает величины в  $+2,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Уменьшение средней температуры этом месяце наблюдается в районе горных цепей Эльбрус и Загрос ( $dt= [-0.01\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -0.04\text{ }^{\circ}\text{C}]$ )
- в марте области максимального прироста предыдущего месяца смещается к северу: в центральной части Ирана от пустыни Деште-Лут к пустыне Деште-Кавир ( $dt= +1,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а в северной части Ирана от Sanandaj к Tabriz ( $dt= +1,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Зона понижения климатической нормы в этом месяце наблюдается в районе побережий Персидского и Османского заливов ( $dt$  минимален в Bam и его величина составляет  $-0,84\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- в апреле зона максимального и минимального прироста смещается к северу, и теперь зона максимального прироста лежит по линии Ashhabad-Tabriz ( $dt = +1.38^{\circ}\text{C}$ ), а зона понижения температур теперь в районе пункта Sanandaj ( $dt = -0.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В районе пустыни Деште-Лут наблюдается минимальный прирост температуры, равный  $+0,1^{\circ}\text{C}$ .
- в мае максимальное повышение температуры наблюдается на побережье Персидского залива ( $dt= + 1,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и западной границе страны ( $dt= +1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а зона минимального прироста температур находится в западной части страны, на линии Jivani-Ashhabad с расширением этой зоны в районе пустыни Деште-Лут. Там наблюдается температурный прирост величиной  $dt=[+0.38^{\circ}\text{C} \dots +0.47^{\circ}\text{C}]$ .

- в июне зона максимума проходит по линии Shiraz-Eshafan-Tehran-Tabriz (западная часть горной цепи Загрос), здесь максимальное  $dt$  составляет  $+2,32^{\circ}\text{C}$ . Зона минимума понижения температур в этом месяце простирается от пустыни Деште-Лут до побережья Оманского залива и добавляется зона в области пункта Senendej ( $dt = [+0,35^{\circ}\text{C} \dots +0,51^{\circ}\text{C}]$ ).
- в июле зона максимального прироста находится в Центральной части Ирана (в районе пустынь Деште-Лут и Деште-Кавир),  $dt = +1,85^{\circ}\text{C}$ , а зона минимального прироста находится на Побережье Оманского и Персидского заливов, а так же в районе пункта наблюдений Sanandaj ( $dt = +0,35^{\circ}\text{C} \dots +0,43^{\circ}\text{C}$ ).
- в августе максимальное повышение климатической нормы находится в пункте Ahvaz ( $dt = +1,94^{\circ}\text{C}$ ) и Birjand ( $dt = +1,64^{\circ}\text{C}$ ). В этом месяце прирост температур не обладает ярко выраженной зоной минимума, минимальный прирост составил  $+0,72^{\circ}\text{C}$ .
- в сентябре зона максимума выделяется в центральной части Ирана, где  $dt$  принимает максимальное значение равное  $+1,44^{\circ}\text{C}$ . Зона минимального прироста находится в районе горных цепей Загрос и Эльбрус, и доходит до побережья Персидского залива, где принимает значение  $+0,53^{\circ}\text{C}$ .
- в октябре зона максимального прироста находится между пунктами Ahvaz и Sanandaj, а также в районе горной цепи Загрос, в них максимальное значение  $dt$  составляет  $+1,23^{\circ}\text{C}$ . Минимальный прирост наблюдается в пунктах Mashhad ( $dt = +0,07^{\circ}\text{C}$ ) и Bam ( $dt = +0,04^{\circ}\text{C}$ ).
- в ноябре максимальный прирост наблюдается по линии Ashhabad-Tehran и он составил  $+1,50^{\circ}\text{C}$ . Зона понижения климатической нормы в этом месяце находится в пункте Sanandaj и составляет  $-0,34^{\circ}\text{C}$ .
- в декабре зонами максимальных повышений климатической нормы стали пункты Ashhabad ( $dt = +0,86^{\circ}\text{C}$ ) и Sanandaj ( $dt = +1,05^{\circ}\text{C}$ ), а понижение средних температур наблюдаются между пунктами Yazd ( $dt = -0,07^{\circ}\text{C}$ ), Birjand ( $dt = -0,06^{\circ}\text{C}$ ) и Zahedan ( $dt = -1,47^{\circ}\text{C}$ ).

Также на основе полученных значений изменения температуры воздуха были рассчитаны ее средние значения по пункту наблюдения, и месяцу:

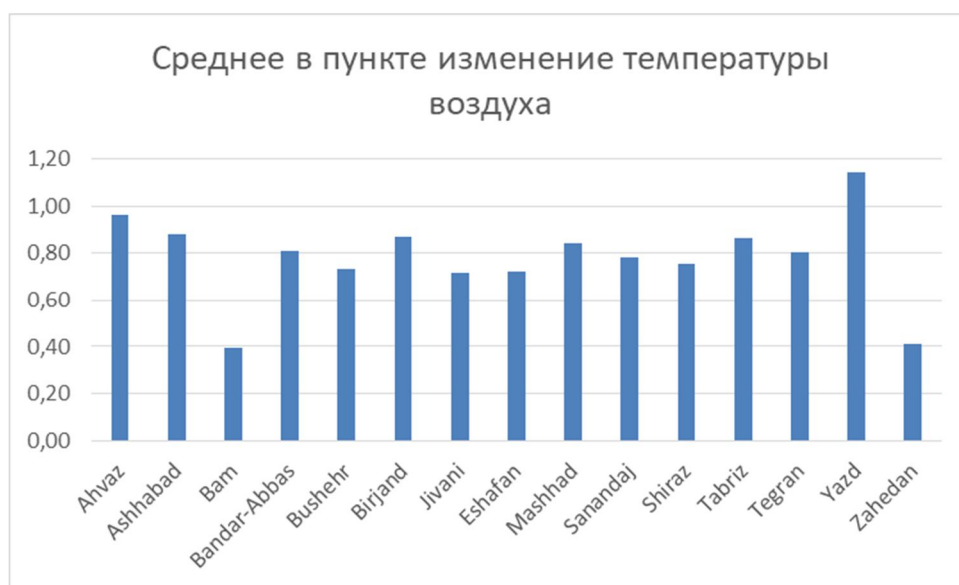


Рис. 3.13 - Гистограмма среднего изменения температуры воздуха в каждом пункте наблюдений.

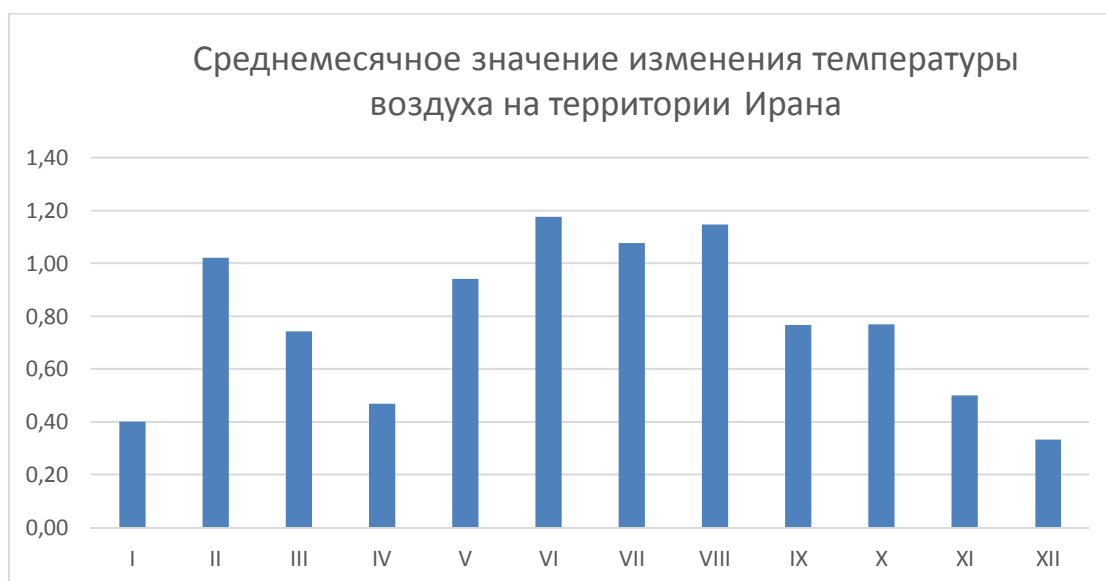


Рис. 3.14 - Гистограмма среднемесячных величин изменения температуры воздуха на территории Ирана.

Из всех собранных данных можно сделать следующие выводы:

- 1) С 1990г. температура воздуха Ирана в среднем выросла на 0,7 °C, что процентном отношении от среднегодовой температуры составляет 4,2%.



Меньшему изменению температуры территория подвергается в самые влажные месяцы – январь, апрель, ноябрь, декабрь. А самые большие- в самые засушливые летние месяцы. Меньшее повышение температуры воздуха во влажные месяцы является следствием нахождения большего количества водяного пара в атмосфере, который препятствует прохождению солнечных лучей, а, следовательно, меньшему прогреву поверхности.

- 2) Маименьшему изменению климатической нормы подверглись районы жаркого и сухого пустынного климата. В таком районе находятся пункты Bam (Бам) и Zahedan (Захедан), для них  $\Delta t$  составляет  $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наибольшему изменению температуры, исходя из полученных данных, подверглись пункты Yazd (Йезд) и Ahvaz (Ахваз), находящиеся в полусухом пустынном и аридном климате, для их территории  $\Delta t$  составляет  $+1,18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+0,98\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно. Для всех основных пунктов средние изменения температуры воздуха колеблется около значения  $+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования были выполнены все цели и задачи, поставленные в начале работы, а именно: был проведен расчёт климатического изменения температуры воздуха в приземном слое на территории Ирана, предварительно территория и ее климатические особенности придалась описанию; были восстановлены ряды с пропущенными данными и оценена эффективность восстановления; все выборки были проверены на однородность и стационарность, и результаты этих проверок были удовлетворительны и позволили проводить дальнейшие расчеты.

Выполненное исследование позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1. Современные изменения климата на рассматриваемой территории Ирана проявляются в месяцы теплого периода года (с марта по ноябрь) в виде ступенчатого увеличения температур в большинстве случаев с 1990 до настоящего времени.
2. Ступенчатый рост температур в среднем равен  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что составляет 4,2% от климатической нормы в месяцы теплого периода года (за исключением летних месяцев, где он составляет  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (5,9% от климатической нормы) с максимумом преимущественно во внутренних областях Ирана и с минимумом в горных и прибрежных районах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменение климата, 2001. Обобщенный доклад. МГЭИК. 2003, 220 с.
2. Сервис, позволяющий получить необходимые данные с архивов метеостанций и анализирующий их <http://climexp.knmi.nl>.
3. Парниковый эффект, изменения климата и экосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1989, 558 с.
4. Изменение климата, 2001. Обобщенный доклад. МГЭИК. 2003, 220 с.
5. Сервис, позволяющий получить необходимые данные с архивов метеостанций и анализирующий их <http://climexp.knmi.nl>.
6. В.Н. Воробьев, Э.И. Саруханян, Н.П. Смирнов «глобальное потепление – гипотеза или реальность?»
7. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. – М.: изд. МГУ, 1991
8. Собрание статей о географических особенностях разных стран <http://www.gecont.ru>.
9. Справочник потребителя спутниковой информации, – СПб.: Гидрометеиздат, 2002, 106 с.
10. Ресурс, сопоставляющий местность и наблюдаемый на ней тип климата по климатической модели, имеющей более 220 миллионов точек данных и разрешение 30 секунд дуги <https://en.climate-data.org>.
11. Веб-сайт Европейского проекта оценки климата и набора данных <https://www.ecad.eu/>.
12. Портал знаний об изменении климата, является центром информации, данных и отчетов об изменении климата по всему миру <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal>.
13. Официальный сайт пятой фазы проекта по сравнению взаимосвязанных моделей Всемирной программы по изучению климата, раздел «Доступ к данным». - [http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data\\_portal.html](http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html)

14. О.А.Дроздов, В.А.Васильев, Н.В.Кобышева, А.Н.Раевский, Л.К.Смекалова, Е.П.Школьный «Климатология». Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
15. В. А. Лобанов Лекции по климатологии. Ч. 2. Динамика климата. Кн.1. СПб.: изд-во РГГМУ, 2016. 332 с.
- 16.Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб: изд. РГГМУ, 2008. 408с.
17. Дегтярев А.С., Драбенко В.А., Драбенко В.А. Статистические методы обработки метеорологической информации. Учебник. - СПб: ООО «Андреевский издательский дом», 2015 - 225 с.
18. В.А. Лобанов, И.А. Смирнов, А.Е. Шадурский. Практикум по климатологии. Часть I. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011. - 145 с.
19. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть 2. Учебное пособие. - СПб, изд. РГГМУ, 2012 – 141 с.
20. В.А. Лобанов, С.А. Маммедов «Оценка климатических изменений температуры воздуха и их устойчивости на территории центральной Азии»