



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

(магистерская работа)

На тему Влияние современных изменений климата на температурный режим горных регионов (на примере Альп)

Исполнитель Двалишвили Мариам Паатовна

Руководитель доктор технических наук, профессор кафедры МКОА

Лобанов Владимир Алексеевич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

подпись

«_____» _____ 2024г.

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Особенности климата и его изменения в Альпийском регионе	5
1.1. Климат в горных районах	5
1.2. Характер изменений.....	6
1.3 Географическое положение Альп.....	7
1.5 Происходящие изменения климата	11
1.6. Рекомендации по адаптации к изменениям климата.....	12
1.7. Обзор выбранных метеостанций	14
Глава 2 Оценка современных изменений климата	15
2.1 Количественная оценка современного потепления января Альпийского региона 1950-2021 годов.....	17
2.2 Количественная оценка современного потепления июля Альпийского региона 1950-2021 годов.....	19
Глава 3 Особенности внутригодового и пространственного моделирования температур воздуха	21
3.1. Расчет параметров линейной статистической модели внутригодовых изменений.....	21
3.2 Определение вида модели временных рядов для параметров модели внутригодовых изменений.....	26
3.3. Расчет параметров пространственной статистической модели	27
3.4 Определение вида моделей временных рядов для параметров пространственной модели	30

Глава 4 Оценка будущих изменений климатических характеристик	32
4.1 Будущие изменения климатических характеристик на основе сценариев и моделей	32
4.2 Методика выбора эффективной климатической модели	35
4.3 Расчет эффективной климатической модели Альпийского региона по результатам исторического эксперимента по температурам июля	36
4.4 Сценарные оценки климатических изменений температуры воздуха июля	42
4.5 Расчет эффективной климатической модели Альпийского региона по результатам исторического эксперимента по температурам января	51
.....	57
Заключение	65
Литература	67
Приложение 1	69
Приложение 2	72

Введение

В последние десятилетия наблюдается изменение климатических норм на всей планете. В частности, изменился температурный режим Альпийского региона, что привело к колебаниям в гидрологическом режиме (таяние ледников и снежного покрова), смещению биоценозов вверх по склону и увеличению частоты опасных явлений по типу лавин.

Актуальность данной магистерской диссертации в том, что Альпы позволяют изучать тренд в изменении климата горных районов на примере одной из главных точек биоразнообразия.

Цель работы – влияния современных изменений климата на температурный режим в Альпах

Для реализации был сформулирован ряд задач:

Описать географическое, особенности климата Альп

Создать региональную базу данных температур

Рассчитать статистические пространственные модели

Дать оценку современных изменений климата января и июля

Смоделировать будущие изменения климата на основе проекта CMIP5 января и июля

Выпускная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованной литературы и 2 приложений.

Глава 1. Особенности климата и его изменения в Альпийском регионе

1.1. Климат в горных районах

Горный климат отличается по своим характеристикам от климата окружающих низменностей, и единственной общей основой для этого различия является разрежение атмосферы. Кроме того, большое разнообразие вносят различия в широте, высоте и освещенности солнцем.

Наиболее распространенными климатическими результатами высокогорья являются снижение давления, уменьшение доступности кислорода, снижение температуры и увеличение инсоляции. Температура обычно снижается с высотой, главным образом потому, что источником тепла является солнечная энергия, поглощаемая почвой и возвращаемая в атмосферу в виде теплового излучения. Таким образом, более низкие температуры являются прямым следствием снижения атмосферного давления. Изменение температуры в зависимости от высоты обычно составляет около $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 м, но оно может значительно изменяться в зависимости от влажности, температуры и т. д. Оно относительно невелико ($0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 м) для влажного воздуха (т.е. воздуха, насыщенного водой, как в облаках) и $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ для "сухого" воздуха (менее 100 % влажности).

При стабильных атмосферных условиях (обычно высокое атмосферное давление и слабый ветер) холодный воздух часто скапливается в низменных местах (долинах и других впадинах), так что мы наблюдаем инверсию "нормального" температурного режима. Такие температурные инверсии часто характеризуются туманом (так называют облака, когда они касаются поверхности земли) и опасностью заморозков. Выше инверсии начинается обычное снижение температуры с высотой, так что область прямо над инверсией часто называют "теплым поясом", обычно хорошо известным местным

фермерам. Горы имеют предсказуемый характер ветра, который типичным образом влияет на термическую стратификацию.

Подобно морским и сухопутным бризам в прибрежных районах, ночью ветры дуют с возвышенностей в долину (способствуя возникновению вышеупомянутых инверсий), а днем - из долины в горы, когда большие высоты подвергаются относительно более быстрому нагреву, чем в низина. Из-за большой высоты, низкой аэрозольной нагрузки и низкой влажности солнечная энергия поглощается атмосферой в значительно меньшей степени, чем в низинах. Кроме того, тень, наклон, экспозиция склонов и облачность играют доминирующую роль в пространственном распределении солнечной энергии в конкретной местности. Высота над уровнем моря, при этом поступление солнечной энергии может легко изменяться в 100 раз от постоянно затененного дна долины до хорошо открытого склона.

В силу вышеописанного механизма атмосферная вода выпадает в виде осадков, когда воздушная масса поднимается и охлаждается, достигая горного хребта. На наветренных склонах обычно выпадает значительно больше осадков, чем на подветренных.

1.2. Характер изменений

Деятельность человека серьезно сказывается на климате планеты, горы - чувствительный индикатор этого воздействия. Из-за высоты, наклона и ориентированности на солнце, горные экосистемы легко нарушаются в условиях колебания климата. Многие исследователи полагают, что изменения в горной экосистеме могут быть ранними свидетельствами о том, что могло случиться в равнинных условиях.

По мере нагревания планеты горные ледники тают с беспрецедентной скоростью, редкие растения и животные борются за выживание на все уменьшающихся территориях, а горные народы, которые и так являются одними из самых бедных граждан мира, сталкиваются с еще большими трудностями.

Изменения в объеме горных ледников и в характере их сезонного таяния влияют на водные ресурсы во многих регионах мира.

Изменения в доступности воды в результате изменения климата происходят в то время, когда растет нагрузка на водные ресурсы для орошения и производства продуктов питания, индустриализации и урбанизации.

Понимание того, как изменение климата влияет на горы, имеет жизненно важное значение, поскольку правительства и международные организации разрабатывают стратегии по обращению вспять текущих тенденций глобального потепления, разрабатывая такие договоры, как Киотский протокол и Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Кроме того, расширение прав и возможностей местных сообществ может стать важным шагом на пути к созданию устойчивости к изменению климата в горах.

1.3. Географическое положение Альп

Альпы представляют собой обширную горную систему, расположенную в юго-центральной части Европы. Эти горные хребты протянулись примерно на 1200 км в форме полумесяца по территории восьми альпийских стран, а именно Австрии, Германии, Италии, Лихтенштейна, Монако, Словении, Франции и Швейцарии (рис.1.1).

Горная цепь Альп простирается от северной части Средиземного моря у Монако на юге Франции в Швейцарию, затем через северную Италию в южную Германию и к Вене в Австрии. Затем горный хребет проходит через Словению, Хорватию, Боснию и Герцеговину, Сербию и Черногорию. Горная цепь Альп заканчивается в Албании на изрезанном побережье Адриатического моря.

Альпы занимают общую площадь около 207000 км² и имеют максимальную ширину около 250 км в самой широкой точке, расположенной между Вероной в Италии и Гармиш-Партенкирхеном на юге Германии. Альпы - это прерывистый горный хребет, состоящий из многочисленных вершин и долин, которые имеют различную высоту и глубину. Ледник Алетш длиной 22,6км, расположенный в кантоне Вале в Швейцарии, является самым большим

ледником в Альпах. Горный массив Альп можно разделить на три большие части: Восточные, Центральные и Западные Альпы.



Рис.1.1. Географическое положение Альп

Восточные Альпы, расположенные в основном в Австрии, а также в Германии, Италии и Словении, включают в себя Баварские Альпы, Карнийские Альпы, Динарские Альпы, Доломитовые Альпы и Юлийские Альпы. Центральные Альпы занимают территорию между перевалами Большой Сен-Бернар и Бреннер и включают в себя Бернские и Гларусские Альпы с северной стороны и Лепонтинские, Этцталские, Пеннинские и Раэтийские Альпы с южной стороны. Западные Альпы простираются от Приморских Альп у побережья Средиземного моря до Большого Сен-Бернарского перевала,

пересекая границы Франции, Италии и Швейцарии. В него входят Коттианские, Лигурийские и Грайанские Альпы, а также массив Монблан и Валле-д'Аоста.

Монблан находится на границе Франции и Италии и возвышается над уровнем моря на 4808 м, что делает его самой высокой вершиной горного хребта Альп. На границе Швейцарии и Италии находится Монте-Роза, которая возвышается на 4634 м и является второй по высоте вершиной в Альпах. Среди других примечательных горных вершин - Маттерхорн, Дюфуршпитце, Финстераархорн, Вайсхорн, Гроссглокнер, Цугшпитце и Триглав.

Среди известных рек, протекающих в Альпийском горном регионе, - Инн, По, Рейн и Рона. Здесь также расположено несколько озер, в том числе Анси, Боденское, Гарда, Женевское и другие.

1.4. Климатическая классификация Кеппена для Альп

В общей сложности 11 из климатических классов присутствуют в области Больших Альп (рис.1.2). Они включают в себя два засушливых климата, пять теплых умеренных климатов, два бореальных климата и два альпийских климата. Бореальный климат - это синоним исторически сложившегося термина "снежный климат", а альпийский климат в глобальном контексте называется полярным климатом.

Пять теплых умеренных климатов охватывают основную часть Больших Альп. В рамках этих климатов различают наличие и отсутствие сухого сезона, а также прохладное, теплое и жаркое лето. Климат Cfb (отсутствие сухого сезона, теплое лето) является преобладающим климатом на севере Альпийского водораздела. Климат Cfc с прохладным летом расположен в горном поясе Альп, в то время как три основных теплых умеренных климата наблюдаются к югу от Альп. Климат Cfa характеризует умеренный климат с жарким летом и отсутствием сухого сезона, а летние сухие климаты Csa и Csb иногда объединяют в одну группу и обычно называют средиземноморским климатом.

Влажные бореальные климаты классифицируются исключительно по температурному режиму на Dfb (теплый летний климат) и Dfc (прохладный летний и холодный зимний).

Отметим, что Кёппен разработал эту классификацию в соответствии с породами деревьев, преобладающими в различных регионах в естественных условиях. В то время как современный климат Cfb следует рассматривать скорее, как оптимальный климат для лиственных лесов, климат Dfb - как климат смешанных лесов, а климат Dfc - как климат хвойных лесов.

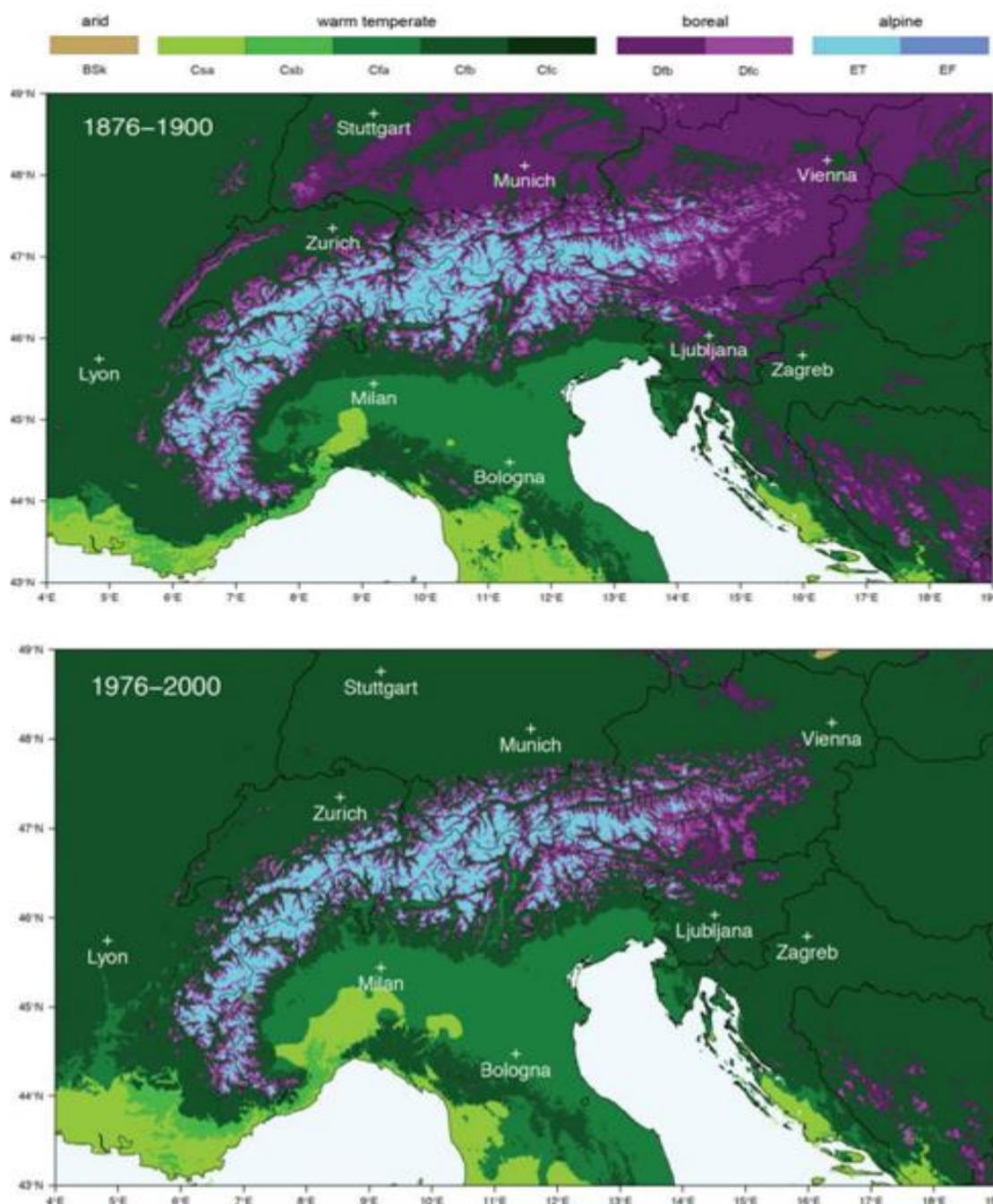


Рис.1.2. Карты климатической классификации Кёппена-Гейгера для Больших Альп, рассчитанные по данным наблюдений за температурой и осадками по двум периодам времени.

Лесовозная линия отделяет прохладный бореальный климат (Dfc) от климата высокогорной тундры (ET), где рост деревьев уже невозможен. В качестве критерия была определена изотерма 10°C самого теплого месяца.

1.5 Происходящие изменения климата

В последние годы в Альпах растаяло больше ледников, чем когда-либо прежде, сообщила служба ЕС по изменению климата Copernicus. Ледники Альп потеряли более 5 кубических километров (1,2 кубических мили) льда, говорится в докладе службы о состоянии климата в Европе в 2022 году (ESOTC 2022), добавляя, что лето 2022 г. было самым теплым за всю историю наблюдений.

Глобальное потепление часто называют негативным фактором, влияющим на таяние снега и льда в холодных регионах. Однако новое исследование, опубликованное в журнале *The Cryosphere*, показало, что экстремальные снегопады могут стать характерной чертой некоторых мест в более высоких широтах и на больших высотах в ближайшие десятилетия.

Между тем, согласно прогнозам, потепление на низких и средних горных высотах приведет к усилению экстремальных осадков: на 1°C потепления в глобальном масштабе приходится 7%-ного увеличение количества осадков.

GWP - это показатель способности конкретного газа задерживать тепло в атмосфере, при этом в качестве эталона был выбран углекислый газ. В исследовании использовалась климатическая модель в рамках репрезентативного пути концентрации 8,5Вт/м². Эта закономерность сохранялась вплоть до +3°C глобального потепления, после чего высоты, на которых наблюдалось значительное изменение количества осадков и снега, еще больше уменьшились, достигнув минимума в 900 м при +4°C глобального потепления (ежегодное сокращение количества снега на 26%).

Были определены три различных фазы:

- 1) интенсивность снегопада увеличилась в связи с аномальной влажностью и частотой температур ниже 0°C;
- 2) уменьшение снегопадов на высоте 3000 м из-за слишком высоких температур
- 3) Недостижимость оптимальной температуры замерзания

В целом, это означает, что порог, при котором чистый баланс снегопадов смещается выше 0%, изменяется с 3000 м при потеплении +1,5°C до 3300 м при +4°C для среднегодовых значений, что составляет 123 м на +1°C потепления, причем наиболее резкое увеличение происходит при температуре выше +3°C.

1.6. Рекомендации по адаптации к изменениям климата

WWF в сотрудничестве с ALPARC (Альпийской сетью охраняемых территорий), CIPRA (Международная Комиссия по охране Альп) и ISCAR (Международный научный комитет по исследованиям в Альпах) запустили инициативу по определению альпийских регионов, которые должны быть приоритетными для сохранения в них биоразнообразия.

Кризис биоразнообразия во многих аспектах связан с климатическим кризисом, и экологическая связность является одним из ответов на некоторые общие для обоих кризисов проблемы - смягчения последствий и адаптации. Тем не менее, многие аспекты климатического кризиса не связаны с кризисом биоразнообразия, например специфические последствия деятельности человека для экосистем.

В условиях изменения климата важно предвидеть будущее развитие и потребности экосистем и видов. В этой связи может представлять интерес выделение охраняемых территорий в зонах, где могут сформироваться будущие места обитания.

Группа специалистов по изменению климата ВКПА МСОП признает охраняемые территории решающим инструментом для устойчивого развития.

такие как чистая вода, хранение углерода, генетические резервуары, смягчение последствий стихийных бедствий, стабилизация почвы - и сохраняют наше культурное наследие.

ООПТ занимаются защитой видов, экосистем, оказывают важнейшие экологические, социально-экономические и социально-экономические услуги, например, дает воду, хранит углерод, генетический ресурс, смягчает последствия стихийных бедствий, стабилизирует почвы – и сохраняет наше наследие культуры.

Охраняемые территории – важный инструмент для адаптации к изменению климата.

Необходимость изменения роли охраняемых территорий при рассмотрении этой темы была подчеркнута на шестом Всемирном конгрессе парков в Сиднее (Австралия), на котором было подчеркнута важность перехода от пассивно-изолированного управления охраняемыми территориями к активно-инклюзивному и совместному подходу, работающему во многих секторах. В связи с этим были определены три широкие цели экологических сообществ, проживающие на ООПТ и в их окрестностях. Мы должны понимать, как изменение климата влияет на эти ландшафты и морские ландшафты, биоразнообразие и устойчивые средства к существованию. Этот вопрос в основном касается мониторинга.

Мониторинг биоразнообразия является одной из ключевых задач в большинстве альпийских охраняемых территорий. Различные методы и подходы существуют в различных альпийских регионах, странах и, иногда и в международном контексте. Несмотря на многочисленные усилия по гармонизации деятельности по мониторингу альпийских охраняемых территорий, протоколы мониторинга по-прежнему разнятся. Тем не менее, изменение климата учитывается в большинстве альпийских протоколов мониторинга и наблюдений в большинстве альпийских охраняемых территорий (83%). Многие охраняемые территории участвуют в научно-исследовательских проектах и активно сотрудничают с научно-исследовательскими институтами и

университетами в области мониторинга явлений, которые могут быть непосредственно связаны с воздействием изменения климата на альпийскую окружающую среду в Альпах, например, температуры, мониторинг ледников и фенологии.

В качестве примера, в альпийских заповедниках действуют метеорологические станции которые регистрируют данные о температуре, осадках, высоте снежного покрова и т.д. Кроме того, обсерватории различных типов установлены на охраняемых территориях (пастбищах, озерах и т.д.) и управляются сотрудниками заповедников или в сотрудничестве с внешними исследователями.. Мониторинг ледников и вечной мерзлоты - это деятельность с давней историей в альпийских заповедниках, например, наблюдение за ледником Пастерце в Хоэ Тауэрне в Национальном парке Хоэ Тауэрн. Это также особенно важно с символической точки зрения, поскольку таяние ледников является яркой и эффективной иллюстрацией воздействия изменения климата на альпийскую среду.

1.7. Обзор выбранных метеостанций

Для анализа пространственных климатических изменений температуры воздуха в Альпийском регионе было избрано 15 станций (рис.1.3 и табл.1.1).



Рис.1.3. Расположение выбранных метеостанций в регионе Альп

Таблица 1.1.

Координаты, название и число лет наблюдений на выбранных метеостанциях

Код	Название	Период	Кол-во лет	Шир,град д	Дол, град	Высота, м
06601	Базель	1755 - 2021	267	47,33	7,34	261
06604	Невшатль	1864 - 2021	158	47,05	7,17	479
06655	Энгельберг	1864 - 2021	158	46,49	8,24	1013
06680	Зентис	1864 - 2021	158	47,25	9,34	2502
06700	Женева	1753 – 2021	269	46,12	6,08	375
06784	Давос	1867 – 2021	155	46,48	9,50	1560
10962	Хоэмпайссенб	1781 - 2021	241	47,48	11,43	780
11231	Клагенфурт	1813 - 2021	209	46,37	14,18	446
11320	Инсбурк	1777 - 2021	245	47,16	11,23	574
11343	Зонблик	1886 - 2019	134	47,03	12,57	3106
16020	Больцано	1850 - 2018	169	46,29	11,2	262
16021	Пасо Ролле	1895 - 2021	127	46,15	12,2	1989
16054	Аоста	1841 - 2020	180	45,43	7,22	215
16059	Турин	1753 - 2021	269	45,04	7,41	239
67701	Лугано	1864 - 2021	158	46,01	8,57	273

Глава 2 Оценка современных изменений климата

Структура временной линейки можно представить двумя главными элементами. Типы модели: стационарные и нестационарные. В стационарном варианте основные характеристики временных разрядов, среднего значения и диапазона,

это постоянное или стационарное время. Обычно можно вычислить среднее число за долгий период наблюдения, который является нормой климата. Даже в условиях современного изменения климата считается, что колебания климатических характеристик являются квазистационарными для некоторых небольших отрезков временного ряда, например, для 30 лет, согласно рекомендациям ВМО (1961-1990 гг.).

Кроме случайных отклонений во временном ряду, могут быть нестационарные компоненты с большими временными масштабами, связанные с факторами климатической системы. Существует три основных типа нестационарных моделей:

- монотонные изменения в виде линейного тренда;
- циклические колебания;
- ступенчатые переходы из одного стационарного состояния в другое.

Все изменения, происходящие в природе, имеют циклический характер.

Тенденция - это часть достаточно большого цикла процессов, который является достаточно большим циклом процессов. Это проявляется в виде ветви подъема и падения в рамках рассматриваемого предела, ограниченного временного интервала. Если составляющие нестационарные, эта реакция климатической системы к внешним воздействиям. Эти показатели могут иметь два основных типа: монотонные (тренд или циклическое колебание) или ступенчатые.

Алгоритм оценки эффективности и устойчивости параметров нестационарных моделей состоит в следующем:

- 1) моделями ступенчатого изменения среднего аппроксимируют временной ряд за весь период наблюдения и предварительно оценивают их эффективность и год перехода от одних стационарных условий к другим;
- 2) год начала наблюдений постепенно смещается из прошлого в настоящее и оценивается стабильность показателей эффективности нестационарных моделей (R_{tr} , Δ_{tr} и Δ_{st}) и года перехода (Год) при различных начальных годах временного ряда;

- 3) если показатели модели нестационарного среднего эффективны, то какая из двух моделей оценивается лучше: линейный тренд или пошаговые изменения путем сравнения Δ_{tr} и Δ_{st} ;
- 4) на основе анализа устойчивости нестационарных показателей выбирается наиболее повторяющийся год перехода от одного стационарного состояния к другому (год) и временной ряд за этот год делится на две части;
- 5) статистическая значимость коэффициента корреляции (R_{tr}) оценивается с течением времени для каждой части временного ряда с целью оценки стационарности средних значений;
- б) для количественной оценки влияния изменения климата рассчитывается разница между средними значениями и сравнивается со средним квадратичным отклонением всего ряда, что характеризует естественную климатическую изменчивость.

2.1 Количественная оценка современного потепления января Альпийского региона 1950-2021 годов

Многолетние ряды наблюдений за среднемесячными температурами рассматривались с 1950 года, чтобы модели линейного тренда и ступенчатых изменений идентифицировали современное потепление.

Для оценки различий в средних значениях температуры современного потепления 1950-2021 произведен расчет разницы температур средних значений за два периода времени по следующим формулам:

$$\Delta_I = \bar{t}(1950 - 1988) \quad (2.1)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}(1989-2021) \quad (2.2)$$

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I, \quad (2.3)$$

где Δ_I – средние температуры за период 1950-1988 гг., Δ_{II} – средние температуры за период 1989-2021 гг., Δ' – разность средних температур, характеризующая количественную оценку современного потепления.

Получившееся пространственное распределение показывает разницу между двумя средними Δ_{II} и Δ_I . Предполагая, что вклад природной составляющей вносит такой же вклад в современное потепление, как и предыдущее естественное потепление, таким образом, получается, что вычисленная разница температур характеризует минимальный вклад в современное потепление.

Выполненные расчеты приведены в табл.2.1, а пространственное распределение полученных разностей температур января – на рис.2.1. Исходя из данных таблицы 2.1, получается, что средняя температура января в альпийском регионе в период с 1950 по 1988 составила $-2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а за период с 1989 по 2021 составило $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в январе составило 1.4°C .

Таблица 2.1.

Изменение средних температур января за период 1950 – 2021 гг.

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta^{\circ}\text{C}$
16059	Турин	45,04	7,41	0.6
6784	Давос	46,48	9,50	1.1
16054	Аоста	45,43	7,22	0.9
11320	Инсбрук	47,16	11,23	1.7
10962	Хоэнпайссенб	47,48	11,43	1.6
67701	Лугано	46,01	8,57	1.3
6601	Базель	47,33	7,34	1.7
6700	Женева	46,12	6,08	1.5
6680	Зенетис	47,25	9,34	1.8
11343	Зонблик	47,03	12,57	1.8
6655	Энгельберг	46,49	8,24	1.2
6604	Невшталь	47,05	7,17	1.4
16020	Больцано	46,29	11,2	1.4
16021	Пасо Ролле	46,15	12,2	1.7
11231	Клагенфурт	46,37	14,18	1.6
Среднее значение				1.4

Анализируя рисунок 2.1, можно сделать вывод, что потепление в январе наблюдаются в северо-восточной части до 1.8 °С, а в самом южном пункте Torino составляет всего 0.6 °С.

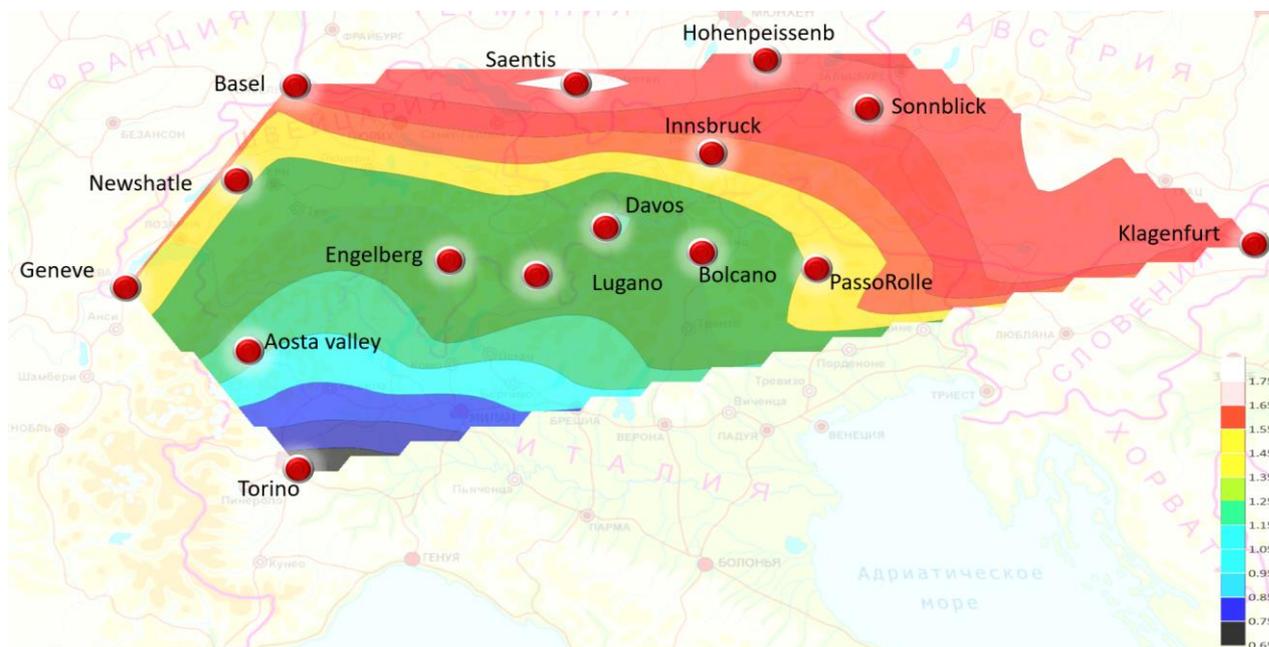


Рис 2.1 Пространственное распределение разницы температур января.

2.2 Количественная оценка современного потепления июля Альпийского региона 1950-2021 годов

Аналогичным образом расчет средних значений за два периода времени был проведен и для рядов температур июля. Результаты расчетов представлены в таблице 2.2 для июля месяца. Также на основе данных таблицы построена пространственное распределение Δ' . Получившееся пространственное распределение показывает разницу между Δ_{II} и Δ_I и приведено на рис.2.2.

Таблица 2.2.

Изменение средних температур июля за период 1950 – 2021 гг.

Код станции	Название	Широта	Долгота	Δ'
16059	Турин	45,04	7,41	0.3
6784	Давос	46,48	9,50	1.7
16054	Аоста	45,43	7,22	1.2

11320	Инсбрук	47,16	11,23	1.1
10962	Хоэнпайссенб	47,48	11,43	1.5
67701	Лугано	46,01	8,57	1.4
6601	Базель	47,33	7,34	2.1
6700	Женева	46,12	6,08	1.6
6680	Зенетис	47,25	9,34	1.9
11343	Зонблик	47,03	12,57	1.5
6655	Энгельберг	46,49	8,24	1.1
6604	Невшталь	47,05	7,17	1.2
16020	Больцано	46,29	11,2	1.7
16021	Пасо Ролле	46,15	12,2	1.5
11231	Клагенфурт	46,37	14,18	1.1
			Среднее значение	1.4

Исходя из полученных данных табл. 2.2, можно сделать вывод, что средняя температура июля в период с 1950 по 1982 составила 15.7°C , а за период с 1983 по 2021 гг. составила 17°C . Таким образом, среднее потепление по территории исследования в июле составило 1.4°C .

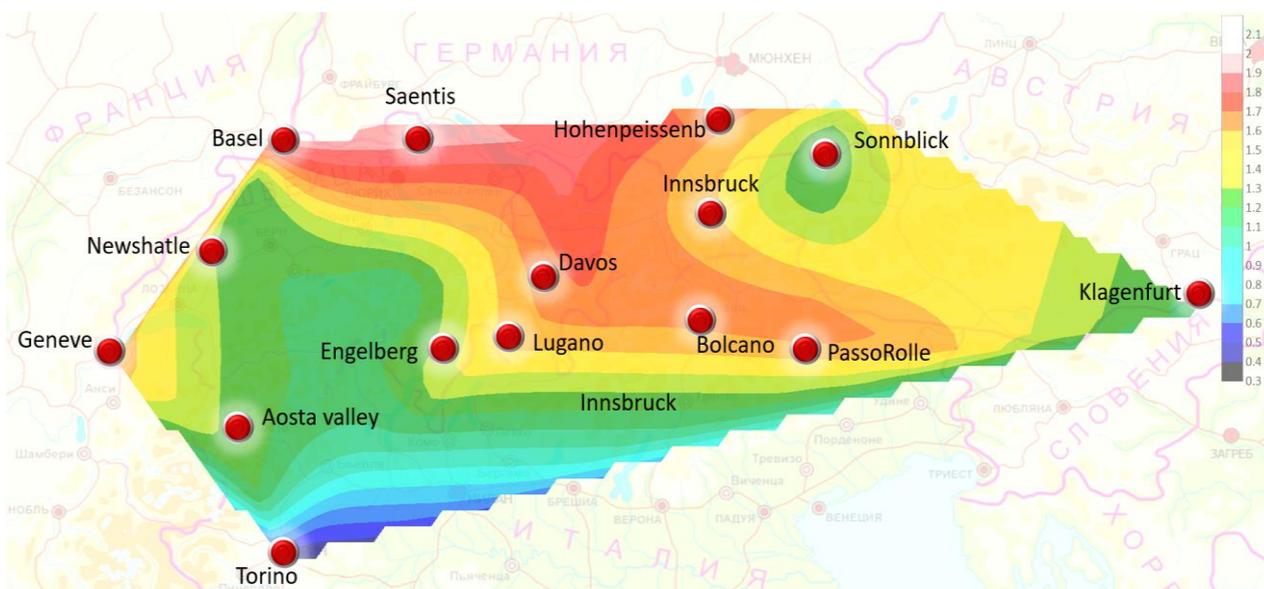


Рис 2.2. Пространственное распределение разницы температур июля.

Анализируя рис. 2.2, можно сделать вывод, что потепление в июле проявляется больше всего на севере и в центральной части до 2.1°C (Базель), а в

южной части не превышает 0.65°C. В высокогорных пунктах колеблется от 1,0 до 1.7°C.

Глава 3 Особенности внутригодичного и пространственного моделирования температур воздуха

3.1. Расчет параметров линейной статистической модели внутригодичных изменений

Линейная статистическая модель внутригодичных колебаний представляет собой уравнение простой линейной регрессии, связывающее внутригодичные изменения каждого года (Y_{ij}) и климатическую (многолетнюю) функцию внутригодичных колебаний ($Y_{срi}$):

$$Y_{ij} = B_{1j} * Y_{срi} + B_{0j}, \pm \varepsilon_{ij}, \quad (3.1)$$

где Y_{ij} - матрица исходных наблюдений,

i – номер месяца (или дня) внутри года,

j – номер года;

$Y_{срi}$ - средняя многолетняя функция годового хода;

B_{1j} - коэффициент, характеризующий отличие амплитуды j -го годового хода от амплитуды среднего многолетнего годового хода;

B_{0j} - коэффициент, характеризующий отличие уровня годового хода j -го года от уровня среднего многолетнего годового хода;

ε_{ij} - отклонения от линии связи конкретных и многолетних условий, характеризующие составляющие композиционного процесса, масштаб которых меньше годового и могут быть представлены в виде их обобщенного показателя – стандартного отклонения ($S_{\varepsilon j}$), характеризующего интенсивность таких процессов для j -го года.

Результатами моделирования внутригодичных колебаний являются графики по нескольким станциям :

- внутригодичной климатической функции;

- связи между данными конкретных лет и климатической функцией;
- многолетние ряды рассчитанных коэффициентов $B1j$, $B0j$ и параметра $Sεj$.

Приведенная модель внутригодовых изменений применялась для аппроксимации среднемесячных температур для трех метеостанций, находящихся в разных высотных и климатических условиях: Сонблик, Аоста, Давос. Графики многолетних климатических внутригодовых функций приведены на рис.3.1 – 3.3.

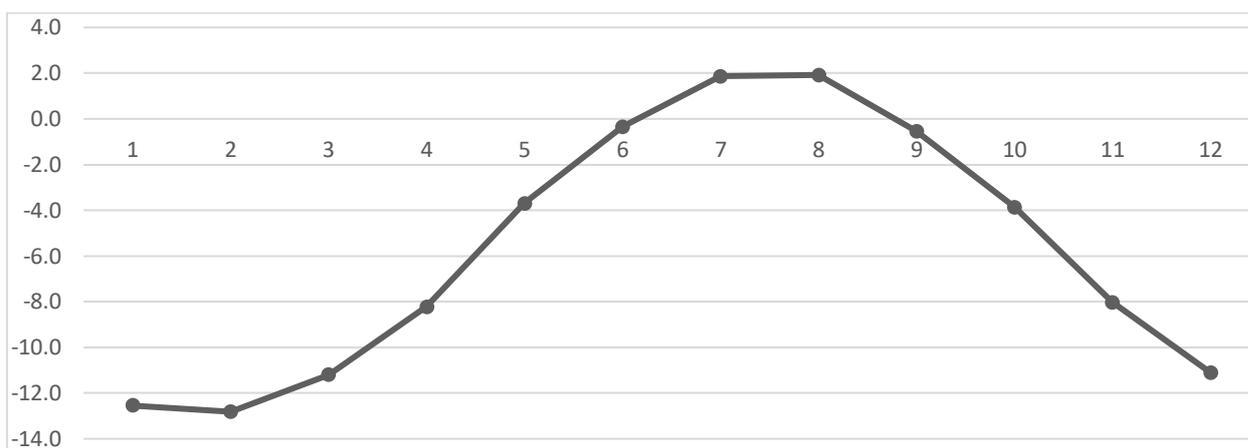


Рис.3.1. Климатическая функция внутригодового хода температуры на метеостанции Sonnblick.

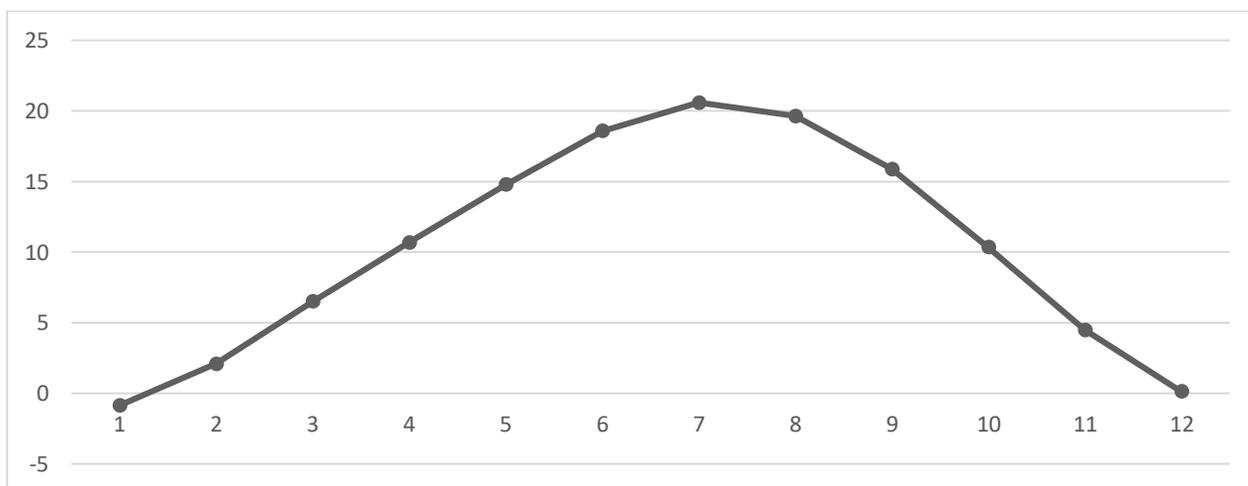


Рис 3.2. Климатическая функция внутригодового хода температуры на метеостанции Aosta valley

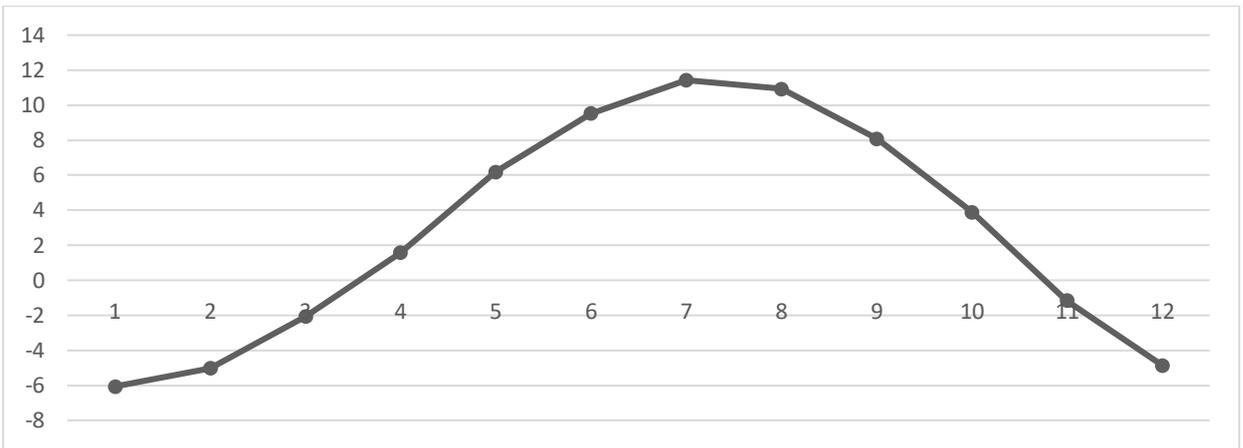


Рис.3.3. Климатическая функция внутригодового хода температуры на метеостанции Davos

В результате были рассчитаны коэффициенты и параметры линейной статистической модели внутригодовых колебаний для метеостанции Sonnblick, Aosta valley.

На графике (рис.3.4) в виде яркой прямой линии приводятся средние многолетние значения параметра S_{ej} , характеризующего интенсивность адвекции. Сами числовые значения рассчитанных коэффициентов и параметров приводятся в приложении 1.

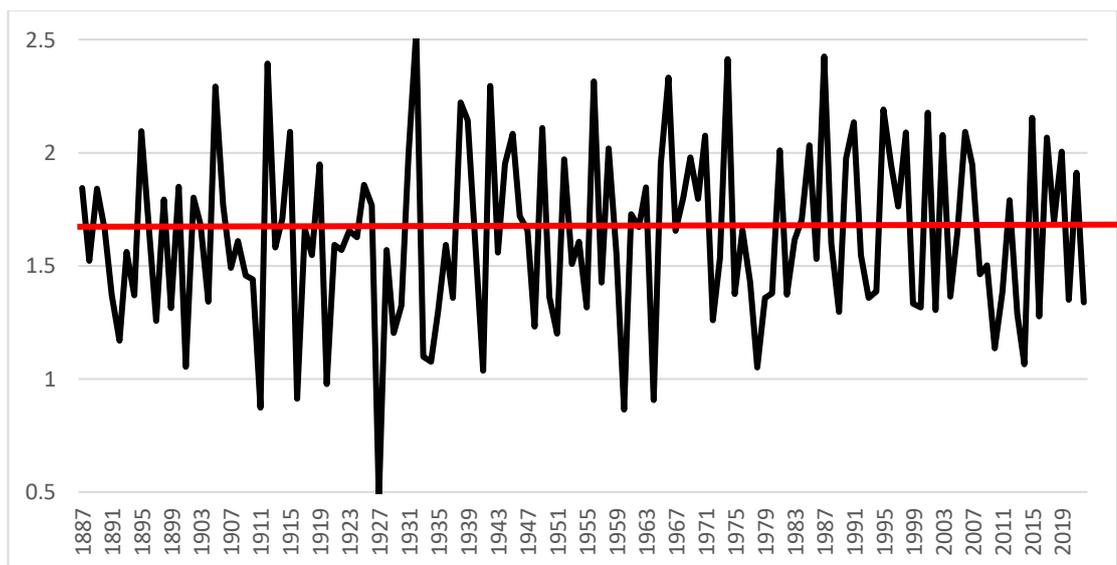


Рис.3.4 График многолетнего ряда параметра S_{ej} (Sonnblick)

Из рис.3.4. можно сделать вывод, что параметр $S_{\epsilon j}$ является стационарным.

Пример линейных взаимосвязей между средними многолетней температурой и температуры отдельных лет показан на рис.3.5.

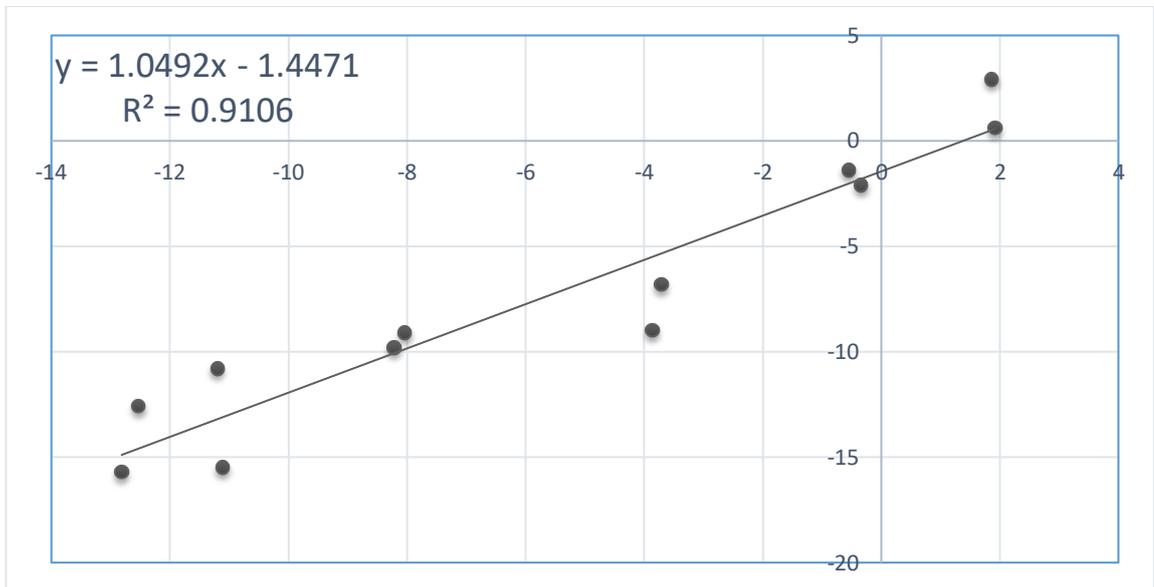


Рис.3.5. График линейных взаимосвязей между средними многолетними и температурами за 1887 г.(Sonnblick)

Как правило, коэффициенты B_{1j} и B_{0j} связаны линейной зависимостью, что можно представить в виде графика и уравнения на рис.3.6.

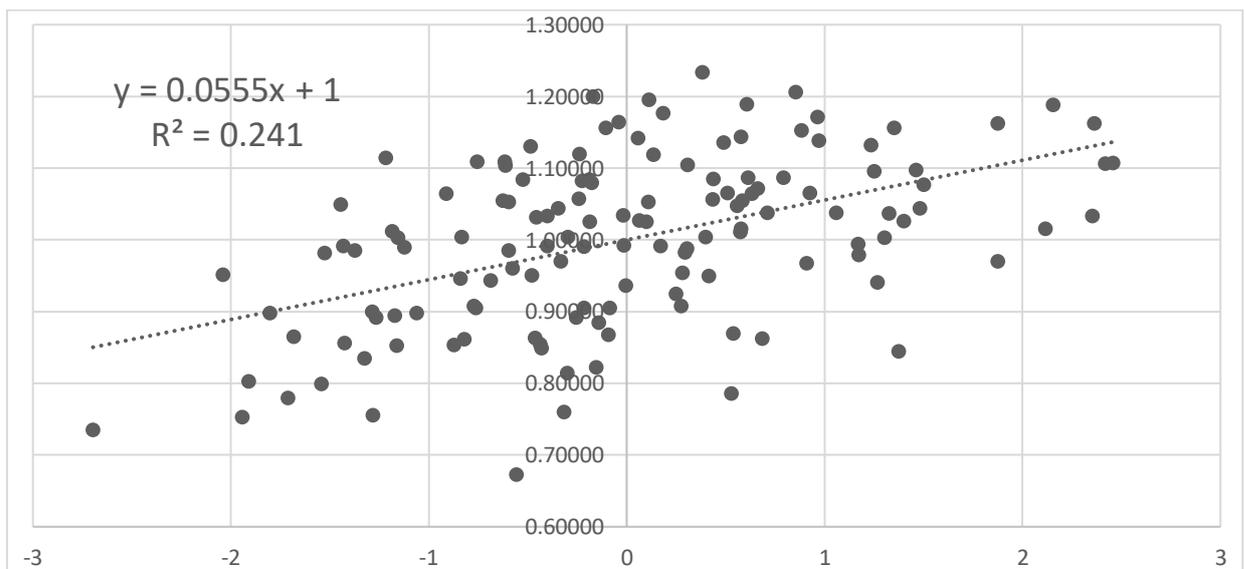


Рис 3.6 Линейная зависимость между коэффициентами B_{1j} и B_{0j} (Sonnblick)

Между коэффициентами V_{1j} и V_{0j} имеет место зависимость с коэффициентов корреляции $R=0.49$.

Более тесная и обратная зависимость с $R=-0.73$ была получена между коэффициентами V_{1j} и V_{0j} имеет для метеостанции Aosta valle, как показано на рис.1.7.

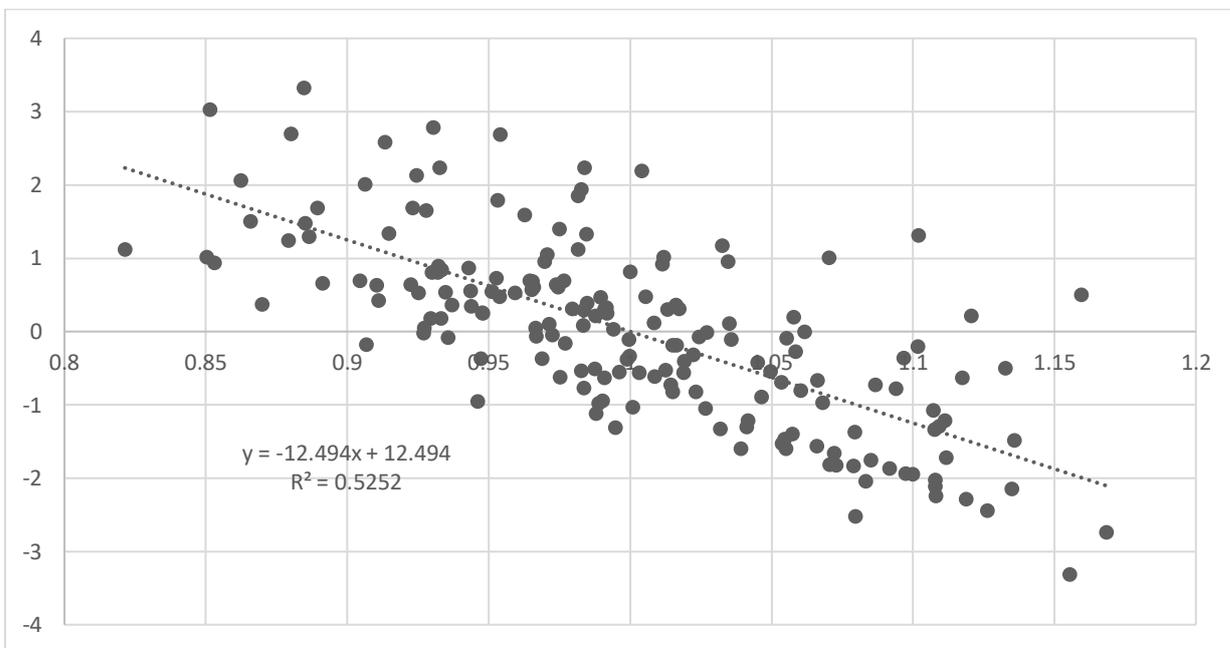


Рис.3.7 Обратная линейная зависимость между коэффициентами V_{1j} и V_{0j} (Aosta valley)

Для метеостанции Давос между коэффициентами V_{1j} и V_{0j} имеет место обратная зависимость с коэффициентом корреляции $R=0.45$ (рис.3.8).

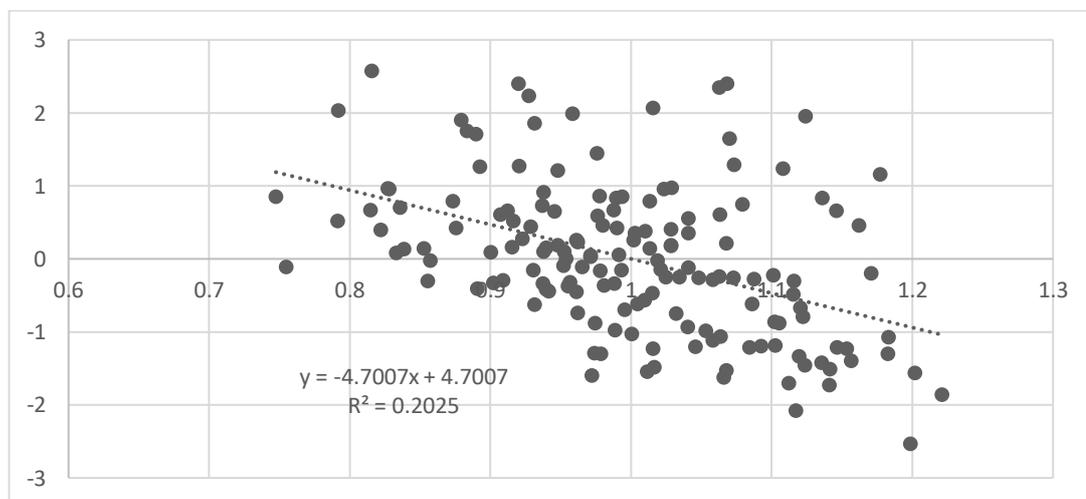


Рис.3.8 Обратная линейная зависимость между коэффициентами $B1j$ и $B0j$ (Davos)

3.2 Определение вида модели временных рядов для параметров модели внутригодовых изменений

В табл.3.2 даны результаты моделирования параметров $B1j$, $B0j$ и $Sεj$ для температуры июля. Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов $B1j$, $B0j$ и $Sεj$

Таблица 3.1

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов $B1j$, $B0j$ и $Sεj$

Sonnblick									
	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
$B1j$	0.3	1.2	1.01	1.02	1928	1887	2022	136	0.08
$B0j$	29.2	24.8	2	1.77	1982	1887	2022	136	0.71
$Sεj$	0.3	1.1	1.01	1.02	1938	1887	2022	136	0.08
Aosta valley									
	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
$B1j$	0.7	1.7	1.01	1.04	1896	1841	2020	180	-0.11
$B0j$	18.1	16.9	1.49	1.45	1988	1841	2020	180	0.57
$Sεj$	0.1	2.8	1	1.06	2010	1841	2020	180	0.04
Davos									
	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	n	$R_{тр}$
$B1j$	0.5	2.7	1.01	1.06	1896	1868	2023	156	-0.1
$B0j$	28.9	27.1	1.98	1.88	1988	1868	2023	156	0.7
$Sεj$	0	1.1	1	1.02	1882	1868	2023	156	0.01

В данном случае эффективная нестационарная модель имеет место только для $B0j$, т.к. $\Delta \geq 10\%$, где $B0j$ имеет наибольшее $\Delta_{ст}=24.8\%$ и $\Delta_{тр}=29.2\%$ с годом ступенчатых изменений 1982 и статистически значимый $R_{тр}=0.71$.

На рис.3.9 проведены линии средних за каждый из двух стационарных интервалов (первый до 1982 г. включительно, второй – с 1982 г.) и вертикальная линия в год ступенчатого роста.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов B_{1j} , B_{0j} и S_{ej}

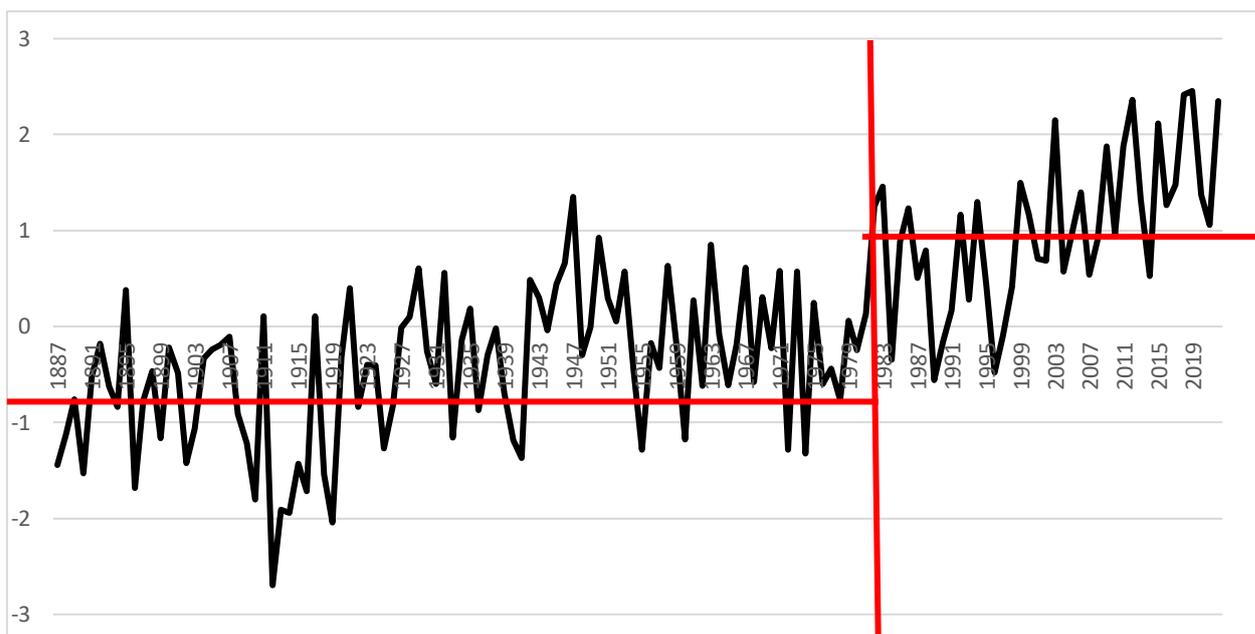


Рис.3.9. Временной ряд параметра B_{0j} и его аппроксимация моделью ступенчатых изменений для температуры на метеостанции (Sonnblick)

Построение модели внутригодовых колебаний и исследование ее коэффициентов позволяет сделать вывод, что коэффициенты B_{1j} и S_{ej} (амплитуда годового хода температуры и интенсивность макросиноптических процессов) пока остаются стационарными, а средние за год температуры несколько возросли.

3.3. Расчет параметров пространственной статистической модели

Следующий вид модели рассматривается как линейный статистический.

Уравнение характеризует линейную связь между полем климатических характеристик каждого конкретного года и средним многолетним полем:

$$Y_{ij} = A_{1j}Y_{cpi} + A_{0j} \pm E_{ij} \quad , \quad (3.2)$$

где Y_{ij} – значение климатической характеристики на i -ой станции в j -ый год;
 Y_{cpi} – среднее многолетнее значение климатической характеристики на i -ой станции; A_{1j} , A_{0j} - коэффициенты уравнения, определяемые по МНК; E_{ij} - случайные отклонения.

При этом, коэффициент $A1j$ характеризует градиент, а $A0j$ – уровень или положение пространственного поля. Случайные отклонения $E1j$ можно выразить через их стандарт $SAEj$ и этот параметр будет характеризовать внутреннюю неоднородность пространственного поля в каждый j -ый год.

Таблица с результатами расчетов приведены в приложении 2. На рис.3.10 - 3.12 приведены зависимости средних многолетних по станциям температур июля от широты, долготы и высоты соответственно.

Статистически значимых зависимостей от широты и долготы получить не удалось, также как множественной линейной зависимости от всех трех факторов. Имеет место только статистически значимая зависимость от высоты.

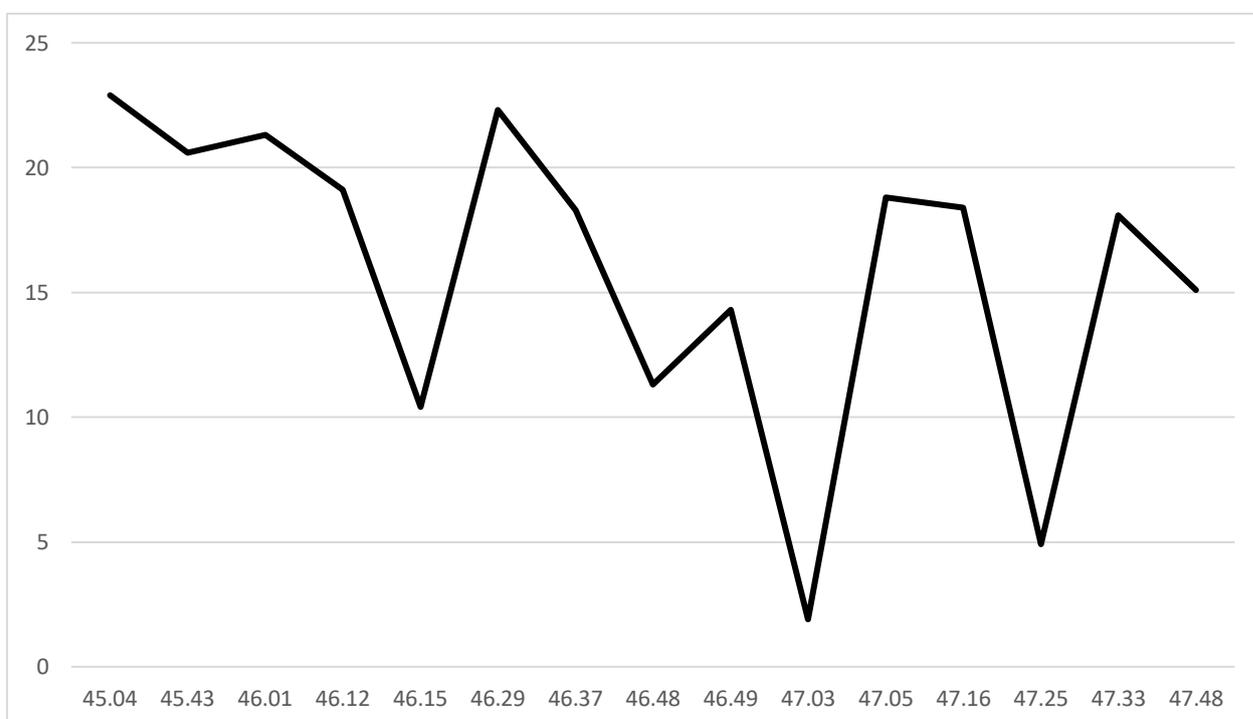


Рис. 3.10. График климатического поля в зависимости от широты метеостанций для температуры июля на территории Альп

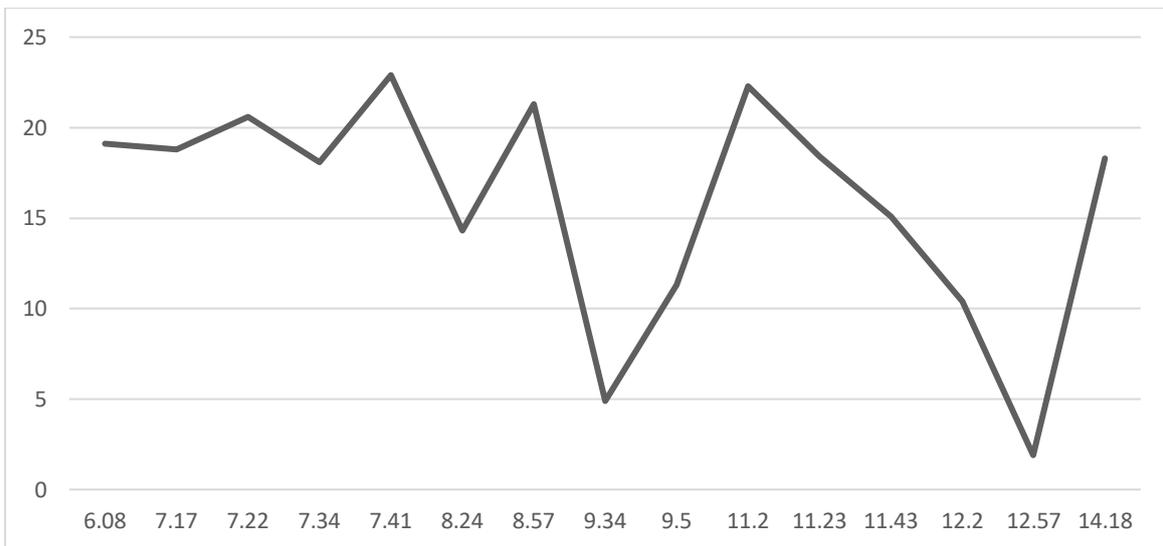


Рис. 3.11. График климатического поля в зависимости от долготы метеостанций для температуры июля на территории Альп

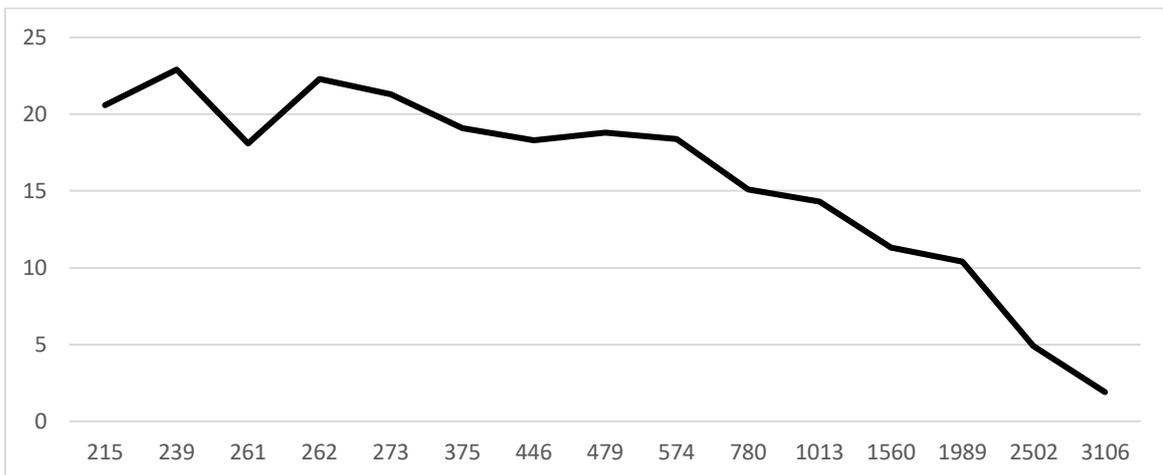


Рис. 3.12. График климатического поля в зависимости от высоты метеостанций для температуры июля на территории Альп

Полученная эффективная зависимость средней многолетней температуры июля (T) от высоты (H) имеет следующий вид:

$$T = -59.26H + 1877 \quad R = -0.40 \quad (3.2)$$

А если исключить отклоняющуюся от зависимости одну точку на метеостанции Sonnblick. Находящуюся на крайнем востоке территории, то зависимость будет еще эффективнее:

$$T = -70.48H + 1888 \quad R = -0.62 \quad (3.3)$$

С широтой и долготой эффективных зависимостей не установлено, т.к.: $R = -0.20$ и $R = 0.12$ соответственно и они статистически не значимы.

3.4 Определение вида моделей временных рядов для параметров пространственной модели

Многолетние ряды параметров пространственной модели температур июля также были аппроксимированы моделями нестационарного среднего и результаты приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2.

Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов A1, A0 и SAE для температуры июля на территории Альп.

код	Δтр,%	Δст,%	Fтр	Fст	Tст	Tнач	Tк	n	Rтр
A1	7.2	8.5	1.16	1.19	1982	1900	2022	123	-0.37
A0	15.6	18.9	1.4	1.52	1982	1900	2022	123	0.54
SAE	0.1	1.6	1	1.03	1993	1900	2022	123	0.05
R	0.4	2.2	1.01	1.04	1982	1900	2022	123	-0.09

Как следует из результатов табл.3.2, стационарные модели являются наиболее эффективными для параметров пространственной модели, кроме A0, характеризующего среднее региональное значение температуры. График параметра A0 приведен на рис.3.13, где красными линиями показаны средние значения за две квазистационарные части ряда.

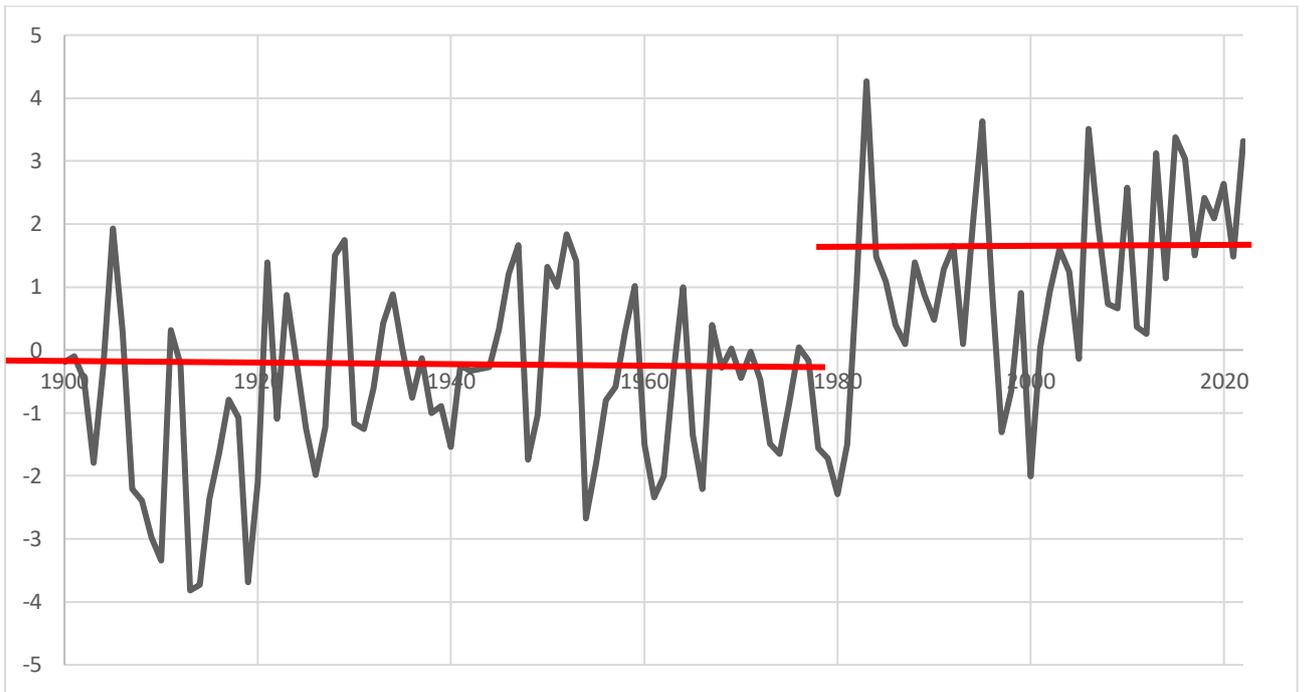


Рис. 3.13. График временного ряда параметра A_0 для температуры июля в Альпах

Достаточно эффективная обратная зависимость получена между коэффициентами A_1 и A_0 , как показано на рис.3.14, имеющая коэффициент корреляции $R=0.66$.

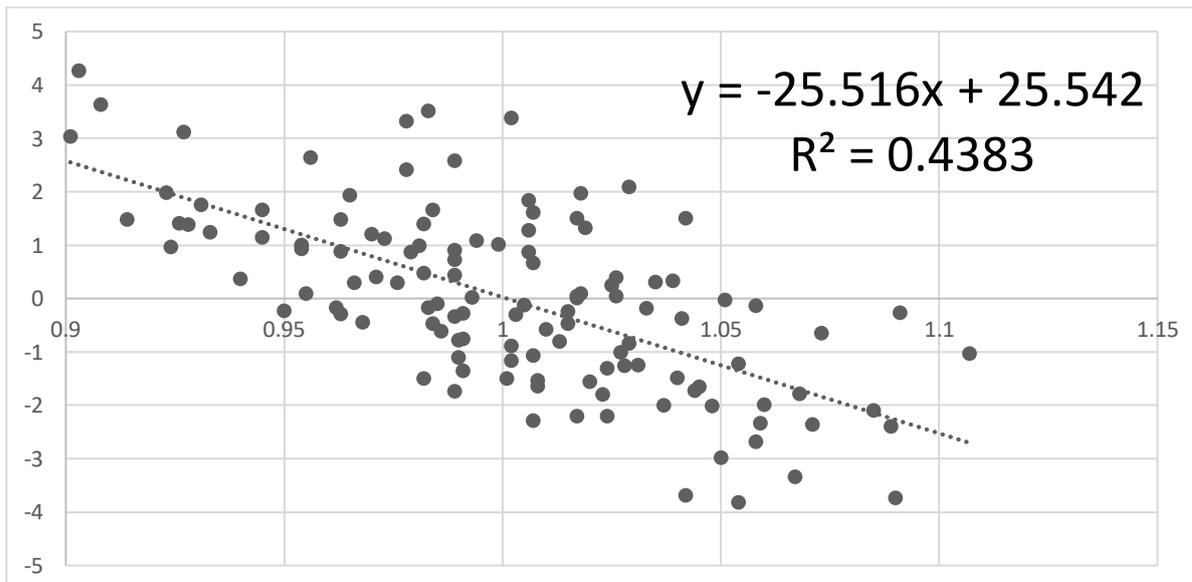


Рис. 3.14 Зависимость между коэффициентами A_1 и A_0 для температур июля

Таким образом, модели временных рядов коэффициентов A_1 и параметра S_{AE} можно отнести к стационарным, а коэффициента A_0 – к нестационарной с $\Delta st=18.9\%$, при росте среднего регионального значения в начале 1980х.

Глава 4 Оценка будущих изменений климатических характеристик

4.1 Будущие изменения климатических характеристик на основе сценариев и моделей

Основная задача моделирования климата состоит не только в получении закономерных изменений во времени, но и в оценке воздействий изменяющихся внешних факторов на внутреннее состояние климатической системы как в настоящем, так и в будущем. Для этой цели разработаны физико-математические модели климата и трехмерные общей атмосферной циркуляции.

Был создан AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project) по сравнению физико-математических моделей климата при выполнении задаваемых экспериментов.

AMIP реализовывался в проектах CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) от фазы CMIP1 до последней фазы CMIP6. Наиболее важны исторический эксперимент (historical experiment) при воспроизведении современного климата и эксперимент по оценке будущего климата по проекциям или сценариям, начиная от сценариев СДСВ (Специальный доклад о сценариях выбросов) или SRES (Special Report on Emission Scenarios) в проекте CMIP3 до РТК (репрезентативная траектория концентрации) или RCP (Representative Concentration Pathway) в проекте CMIP5 и до общих социально-экономических путей (SSP) в проекте CMIP6.

В проекте CMIP5 вместо сценариев SRES представлены новые сценарии RCP или РТК, связанные со стабилизацией общего антропогенного воздействия в 2100 году также на разных уровнях: 2.6, 4.5, 6.5 и 8.5 Вт/м² и вместо концентрации CO₂ в ppm в этих сценариях дан общий эффект воздействия в Вт/м².

В настоящее время разработано более 50 физико-математических моделей климата, которые реализуют одинаковые эксперименты проекта СМIP и в связи с этим полученные на основе одинаковых экспериментов результаты разных моделей можно сопоставлять и сравнивать. Расчеты по разным моделям и сценариям будущего климата ведут к разбросу результатов и неопределенности оценок, диапазон которой тем больше, чем дальше продвигаемся в будущее

Еще одна особенность моделей климата состоит в том, что они плохо воспроизводят локальные особенности климата, обусловленные азональными факторами, т.е. при больших отклонениях от среднеширотных значений.. Климатическая многолетняя изменчивость не воспроизводится, коэффициенты парной корреляции незначимы и не превышают 0,5 – 0,6.

Поэтому результаты физико-математического моделирования необходимо корректировать с учетом локальных особенностей климата.

Аналогичные корректировки необходимо выполнять и для будущих сценарных оценок. Однако, для этого случая существует еще одна важная особенность, связанная со сравнением тенденций изменения климатических характеристик в настоящем и будущем.

Именно для этой цели необходимо привлекать результаты статистического моделирования временных рядов. Поэтому необходимо рассматривать средние многолетние за разные периоды как в настоящем, так и в будущем. Если принять, что в будущем до конца 21 века имеют место 3 периода по 25 – 30 лет, то и во многолетних рядах наблюдений также следует выбрать 2 – 3 периода такой же продолжительности. В результате по 2 – 3м средним за период инструментальных наблюдений можно установить скорость изменения средних и сравнить ее со скоростью изменения средних значений в будущем также по 3м средним за 25 – 30-летние интервалы времени до 2100 года. Особенно важен переход от современных условий к будущим и для этого перехода скорость или градиент скорости изменения надо назначить как среднее из градиента по наблюдаемым данным и градиента по будущим сценарным оценкам.

В этом случае будут учтены, как результаты оценки изменения современного климата, полученные по статистическим моделям временных рядов, так и результаты физико-математического моделирования в виде будущих сценариев и проекций.

Методика совместного применения статистических моделей и результатов физико-математического моделирования для оценки будущих региональных изменений климата включает следующие составляющие.

1. Выбор оптимальных для рассмотренного региона моделей климата по сравнению с данными наблюдений, а также результатами исторических экспериментов. Критерий- осредненная минимальная $\Delta_{\text{ср}}$ по всем метеостанциям между наблюдаемыми и смоделированными средними за выбранные интервалы времени(не менее 2х интервалов 25–30 лет до последнего совместного года). Оценивается для годовых значений, каждого сезона, характерного месяца..

2. $\Delta_{\text{ср}}$ является минимальным отклонением, получаемое в среднем для всех пунктов наблюдений по территории, характеризующее средние локальные особенности. В отдельных пунктах наблюдений или частях района отклонения могут быть больше, иметь разные знаки. Строится пространственное распределение отклонений Δ_i для всех пунктов и идет оценка их пространственных закономерностей. Фактически же пространственное распределение Δ_i необходимо, прежде всего, для корректировки смоделированных данных, как в случае исторического эксперимента, так, и особенно, для будущих сценариев. Именно по откорректированным сценарным значениям и строятся пространственные распределения будущих климатических характеристик.

3. Корректировка будущих средних климатических характеристик осуществляется до конца 21 века и для 3х основных сценариев роста CO₂.

В результате этого этапа методики должны быть рассчитаны откорректированные будущие значения климатических характеристик.

4. Полученные пространственные распределения будущих климатических характеристик сравниваются с существующим распределением в фактических единицах измерения (°С, мм и т.д.).

Построенные же не в относительных (отклонениях от условно заданных средних), а в абсолютных единицах пространственные распределения являются стабильными. Если рассматриваются не сами климатические характеристики, а индикаторы, для которых характеристики являются факторами формирования, то строится модель или эмпирические уравнения связи.

4.2 Методика выбора эффективной климатической модели

Для оценки будущих норм температур воздуха Альп учитываются зональные и азональные климатические особенности, предлагается методика:

- выбор наиболее эффективной модели для территории путем сравнения данных наблюдений и моделирования за совместный период;
- оценка систематической погрешности «наилучшей» модели для метеостанции за счет недоучета локальных особенностей;
- оценка достоверности перехода от наблюдений последнего периода к будущим

В проекте СМIP5 реализован набор модельных экспериментов, чтобы:

- оценить реалистичность моделей климата недавнего прошлого;
- сформировать проекции будущих климатических изменений
- понять некоторые факторы, которые являются причиной различий в полученных климатических проекциях, в том числе количественная оценка ключевых связей, которые связаны с облаком и циклом углерода.

СМIP5 успешно завершен:

- создан десятилетний ретроспективный и будущий прогноз;
- долгосрочное моделирование;
- атмосферное моделирование, проведенное для вычислительных требований

4.3 Расчет эффективной климатической модели Альпийского региона по результатам исторического эксперимента по температурам июля

Из всего набора климатических моделей результаты экспериментов были избраны данные по 9 следующим:

1. Модель Колледжа глобальных изменений и наук о земных системах, Пекинский педагогический университет
College of Global Change and Earth System Science,
Beijing Normal University, China, BNU-ESM
2. Модель Первого института океанографии
The First Institute of Oceanography, China, FIO-ESM
3. Модель института вычислительной математики РАН
Institute for Numerical Mathematics, Russia, INM-CM4
4. Модель института Лапласа
Institut Pierre-Simon Laplace, France, IPSL-CM5A-LR
5. Модель Японского агентства морских и земных наук и технологий, Института исследований атмосферы и океана (Токийский университет) и Национального института экологических исследований
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies, MIROC-ESM
6. Модель Института исследований атмосферы и океана (Токийский университет), Национального института экологических исследований и Японского агентства морских наук и технологий.
Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan, MIROC5
7. Модель метеорологического института Макса Планка
Max Planck Institute for Meteorology, Germany, MPI-ESM-MR

8. Модель Норвежского Центра Климата

Norwegian Climate Centre, Norway, NorESM1-M

9. Модель пекинского климатического центра, Китай

Beijing Climate Centre, China, BCC-CSM1.1

Оценка эффективности и выбор подходящей модели для Альпийского региона проведены на основе сопоставления средних многолетних наблюдаемых и смоделированных температур воздуха июля. Были интерполированы данные с 14 метеостанций, где многолетние средние рассчитывались за весь период наблюдений для каждой станции по 2023 и с 1850 по 2006 для исторического эксперимента.

Таблица 4.1.

Разности средних многолетних температур июля, полученных по историческому эксперименту и по данным наблюдений

модель/ станция	BNU	FIO	INM	IPSL	<i>Micro5</i>	<i>MICROC</i>	MPI	NorESM	BCC	ср
16054	-4.6	-4.4	-9.0	-8.2	-3.4	-2.1	-7.1	-5.9	-4.8	5.5
16059	-6.8	-6.4	-8.6	-9.9	-5.0	-4.4	9.3	7.5	6.7	7.2
6601	1.3	-0.5	-1.6	-2.4	3.2	1.6	-3.3	-1.0	-0.6	1.7
16020	-4.1	-6.1	-6.3	-7.3	-3.9	-3.7	-8.4	-6.9	-6.4	5.9
67701	-6.8	-4.5	-8.1	-8.1	-1.9	-2.6	-7.2	-5.3	-5.0	5.5
6700	-0.3	-1.6	-3.0	-4.1	0.4	0.9	-4.4	-3.1	-2.0	2.2
11231	-2.9	-2.5	-6.3	-7.4	-1.6	-0.3	-5.3	-4.2	-3.1	3.7
11320	3.7	-2.3	-3.4	-1.1	-0.1	-0.9	-4.5	-3.0	-2.4	2.4
10962	3.7	2.3	-0.1	0.7	4.4	4.8	-0.4	1.0	2.1	2.2
6655	1.3	8.0	-1.6	0.8	2.8	3.6	-0.9	0.4	1.0	2.3
6784	7.0	5.7	5.0	7.0	8.2	8.0	3.1	4.8	5.4	6.0
16021	10.0	7.2	5.3	5.1	9.6	8.4	4.8	6.8	7.4	7.2
6680	13.6	12.5	13.0	11.2	15.0	15.3	9.7	11.6	12.4	12.7
11343	17.1	14.8	13.3	12.4	16.3	16.5	12.5	13.4	14.6	14.5
срот	3.7	3.0	3.2	3.2	3.9	3.9	2.8	2.9	3.0	

срзн	6.0	5.6	6.0	6.1	5.4	5.2	5.8	5.4	5.3	
срот_2	4.4	4.2	3.8	4.6	3.8	3.5	4.3	4.0	3.9	
срзн_2	4.4	4.3	4.9	5.2	3.7	3.5	4.9	4.2	3.9	

В последних строках табл.4.1 приведены средние отклонения и среднее для каждой модели по разным выборкам станций. В связи с тем, что регион имеет особую орографию, был построен график зависимости хода разностей температур в от высоты для каждой модели.

Оценка эффективности модели проводилась поочерёдно по двум критериям: по среднему значению разности и по среднему отклонению в каждой выборке, выделяя минимальное значение в ряду.

В табл. 4.2 указаны станции в порядке возрастания высоты над уровнем моря. Можно обнаружить, что самые высотные станции имеют наибольшее значение разностей температур (осредненных по всем моделям). А также в табл.4.2 видно, что в высотных станциях по всем моделям идет завышение разности температур. На самой высокой станции на высоте 3106 м (Sonnblick) превышение средних многолетних по историческому эксперименту на наблюдаемым значением составляет 14,5°C.

Таблица 4.2

Разности средних температур по историческому эксперименту и наблюдениям температур по всем моделям и по станциям в порядке возрастания высоты

Название	Код	Высота (м)	Разности (°C)
Aosta valley	16054	215	5.5
Torino	16059	239	7.2
Basel	6601	261	1.7
Bolcano	16020	262	5.9
Lugano	67701	273	5.5
Geneve	6700	375	2.2
Klagenfurt	11231	446	3.7

Innsbruck	11320	574	2.4
Hohenpeissenb	10962	780	2.2
Engelberg	6655	1013	2.3
Davos	6784	1560	6.0
PassoRolle	16021	1989	7.2
Saentis	6680	2502	12.7
Sonnblick	11343	3106	14.5

В результате был построен график хода разностей температур по различным моделям в зависимости от высоты, как показано на рис.4.1.

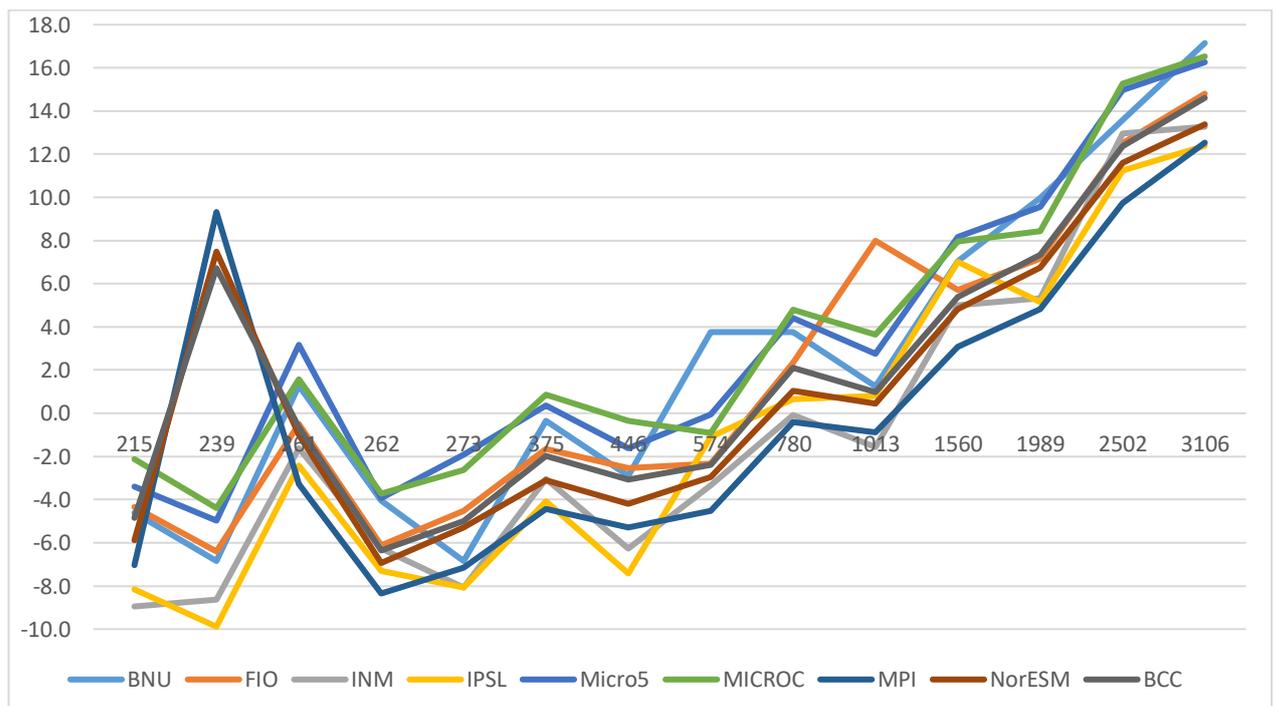


Рисунок 4.1. Ход разностей температур по различным моделям в зависимости от высоты

По графику видно, что начиная с точки с высотой 1560 м, происходит изменение зависимости на более выраженную. Поэтому был посчитан коэффициент корреляции у выборок: все станции, исключая высотные и собственно сами Davos, PassoRolle, Saentis, Sonnblick (таблица 4.3), где

«Корреляция» - все станции кроме высотных, «Корреляция_2» - только высокогорные станции

Таблица 4.3

Коэффициенты корреляции моделей с данными наблюдений в среднем по району

Модель	BNU	FIO	INM	IPSL	Micro5	MICROC	MPI	NorESM	BCC
Корреляция	0.94	0.94	0.96	0.94	0.95	0.96	0.79	0.85	0.88
Корреляция_2	0.68	0.90	0.70	0.82	0.68	0.78	0.17	0.25	0.31

Пространственные распределения разностей температур для модели для наиболее подходящих для данной территории моделей (MICROC и Micro5), имеющих наименьшую по абсолютной величине разность, приведены на рис.4.2 и 4.3.

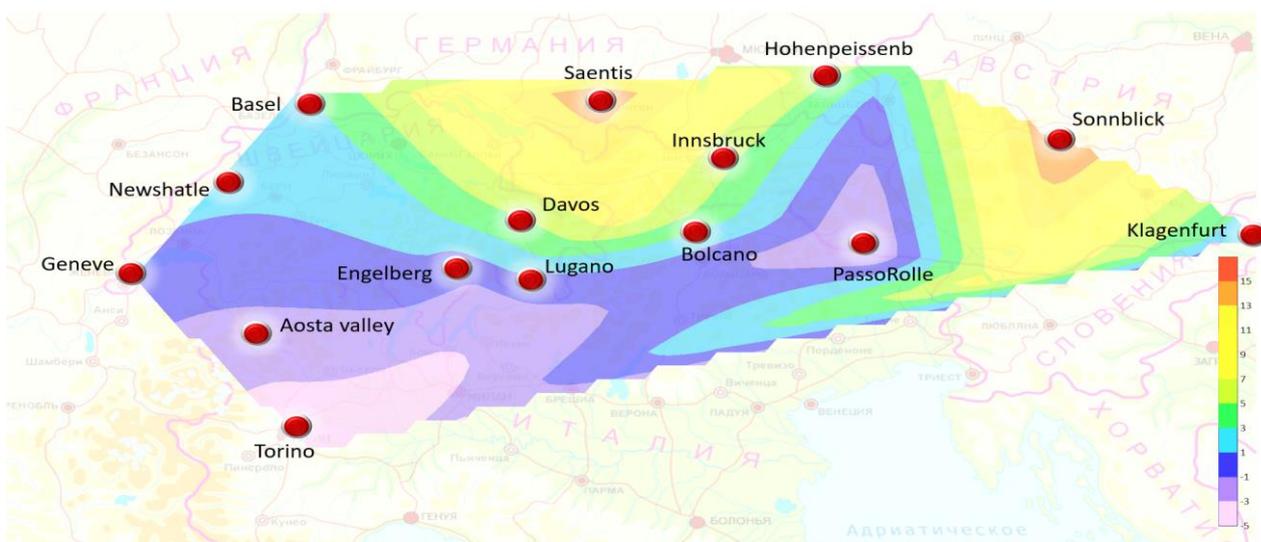


Рис.4.2 Пространственные распределения разностей температур (систематических погрешностей) модели MICROC

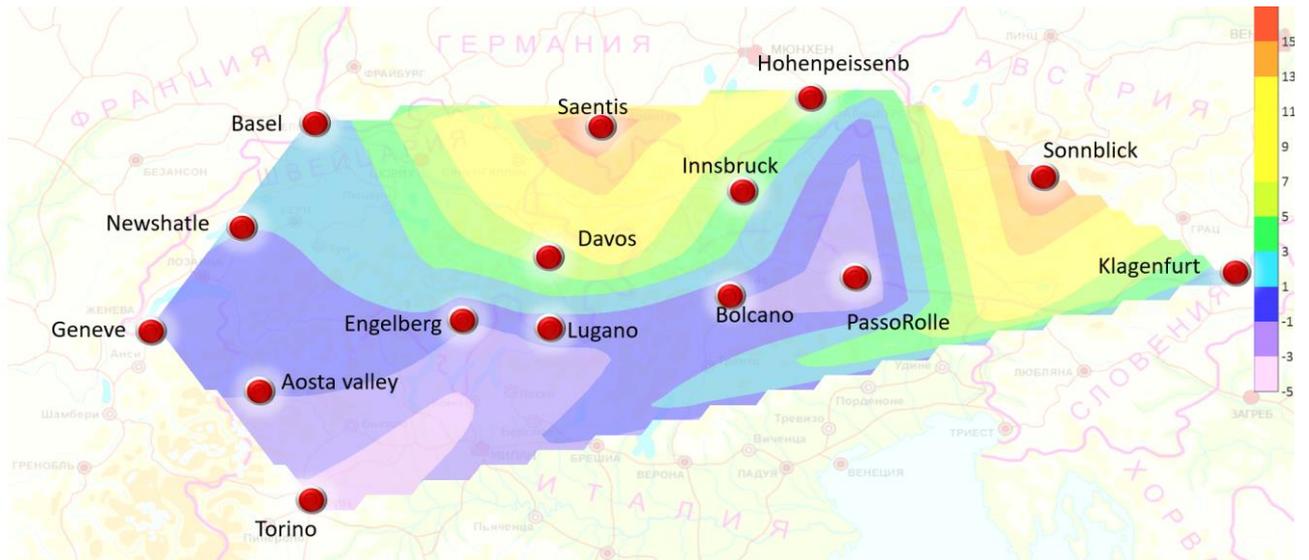


Рис.4.3 Пространственные распределения разностей температур (систематических погрешностей) модели Micro5

Описывая рис.4.2, можно сказать что распределение идет с севера на юго-запад, достигая в точке Saentis 15.0°C , и -4.4°C в Torino.

Также следует отметить, что высотные станции имеют БОЛЬШИЕ разности температур в связи с тем, что модели не учитывают орографические особенности и зональность. Так в Sonnblick –самой высотной станции достигает 16.5°C . Аналогичная ситуация по рис.4.3, где, например в пункте Torino температура занижена на -5.0°C , а в Saentis завышена 15°C

Пример многолетних графиков температур июля по результатам исторического эксперимента и по данным наблюдений приведен на рис.4.4. Из рис.4.4 видно, что имеется систематическая погрешность и синхронность колебаний практически отсутствует.

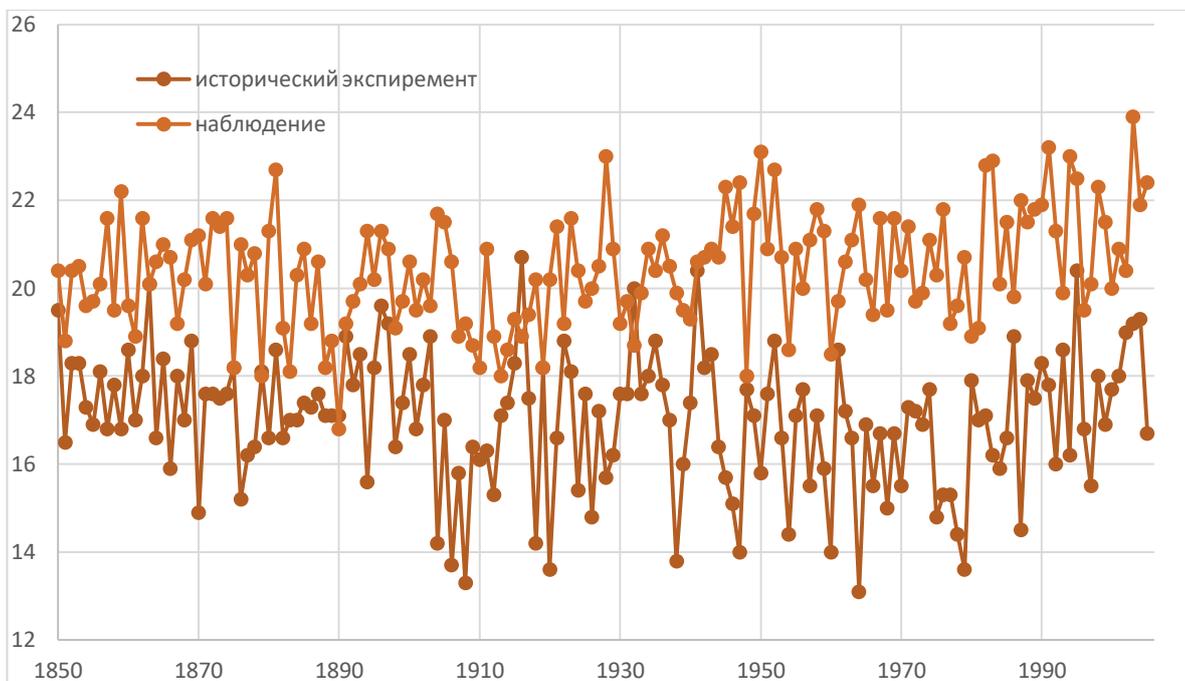


Рис 4.4 Графики исторического эксперимента и наблюдений на станции Aosta valley по модели MICROC

Среднее значение эксперимента 17 °С., наблюдения 20 °С , усредненная разница -16.7%

4.4 Сценарные оценки климатических изменений температуры воздуха июля

Выполнена оценка будущего климата Альпийского региона за 30-летние периоды.: 2011 – 2040 гг., 2041–2070 гг. и 2071–2100 гг. по сценариям: RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5.

Также следует отметить, что сценарий RCP 2.6 представляет собой так называемый «пиковый» сценарий, который означает, что уровень радиационного воздействия достигнет 3,1 Вт/м² к середине столетия, но вернется к 2,6 Вт/м² к 2100 году. Расчеты показывают, что можно достичь уровней радиационного воздействия, соответствующих ожидаемому уровню

превышения температуры к 2100 году в диапазоне 1,5-2°C. Таким образом в моделировании будущего климата планируется максимальное потепление к периоду 2041-2070, но дальнейшее снижение в периоде 2071-2100.

Полученные сценарные значения температур на каждой станции с учетом поправок приведены в табл. 4.4 для трех сценариев и за 3 интервала времени в будущем по модели Micro5.

Таблица 4.4

Сценарные оценки температур воздуха до конца XXI века
в °C по модели Micro5

Период	Коды станций														
	6601	6604	6680	6700	6784	10962	11320	11343	16020	16021	16054	16059	67701	6655	11231
RCP2.6															
2011-2040	21.3	21.3	20.7	21.7	21.2	20.8	20.8	21.6	21.9	22.4	23.3	23.3	21.2	21.2	23.3
2041-2070	21.5	21.5	20.9	22.0	21.5	21.1	21.1	22.0	22.3	22.8	23.7	23.7	21.5	21.5	23.7
2071-2100	21.8	21.8	21.1	22.2	21.6	21.4	21.4	22.2	22.4	22.9	23.7	23.7	21.6	21.7	23.9
RCP 4.5															
2011-2040	21.5	21.5	20.8	21.9	21.4	20.9	20.9	21.7	22.0	22.5	23.6	23.6	21.4	21.4	23.2
2041-2070	22.1	22.1	21.5	22.6	22.1	21.7	21.7	22.5	22.8	23.4	24.3	24.3	22.1	22.1	24.2
2071-2100	22.4	22.4	21.9	23.0	22.5	22.1	22.1	22.8	23.2	23.7	24.9	24.9	22.5	22.5	24.5
RCP 8.5															
2011-2040	21.5	21.5	20.9	21.9	21.4	21.2	21.2	22.1	22.3	22.8	23.5	23.5	21.4	21.4	23.6
2041-2070	22.7	22.7	22.1	23.2	22.7	22.3	22.3	23.1	23.4	23.9	24.8	24.8	22.7	22.7	24.8
2071-2100	24.5	24.5	23.9	25.1	24.6	24.1	24.1	24.9	25.3	25.8	27.0	27.0	24.6	24.6	26.7

Аналогичные данные в виде столбчатых диаграмм для сценариев RCP2.6, 4.5 и 8.5 для каждой станции и последовательно за 3 тридцатилетия 21 века показаны

на рис.4.5 – 4.7 (здесь и далее, номера 1-15 соответствуют станциям в порядке таблицы 4.4

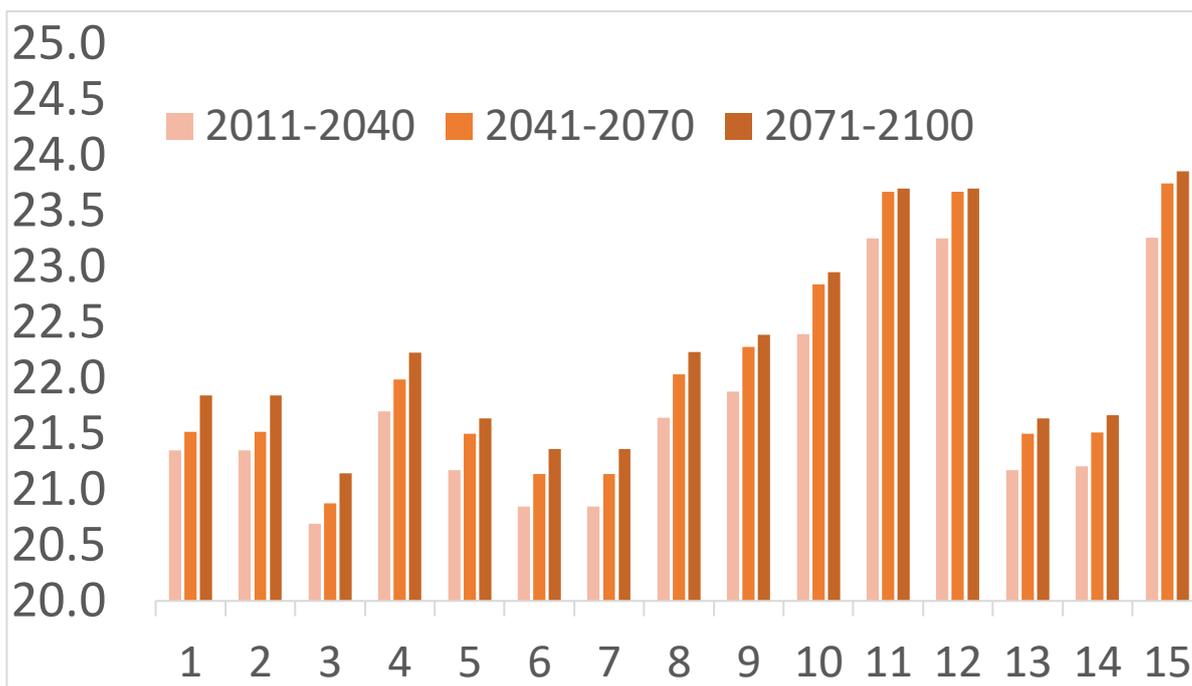


Рис.4.5. Диаграмма осредненных температур по сценарию RCP2.6 за три периода 2011-2100 по модели Micro5 для каждой станции.

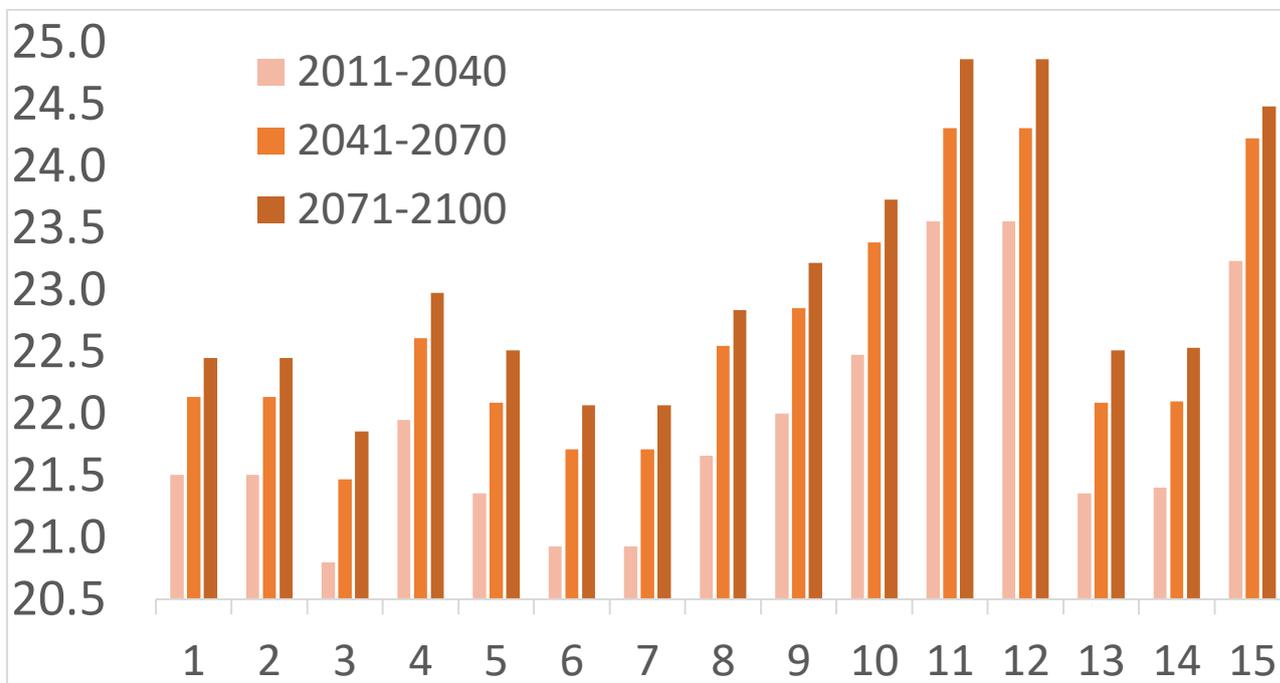


Рис.4.6. Диаграмма осредненных температур по сценарию RCP4.5 за три периода 2011-2100 по модели Micro5 для каждой станции.

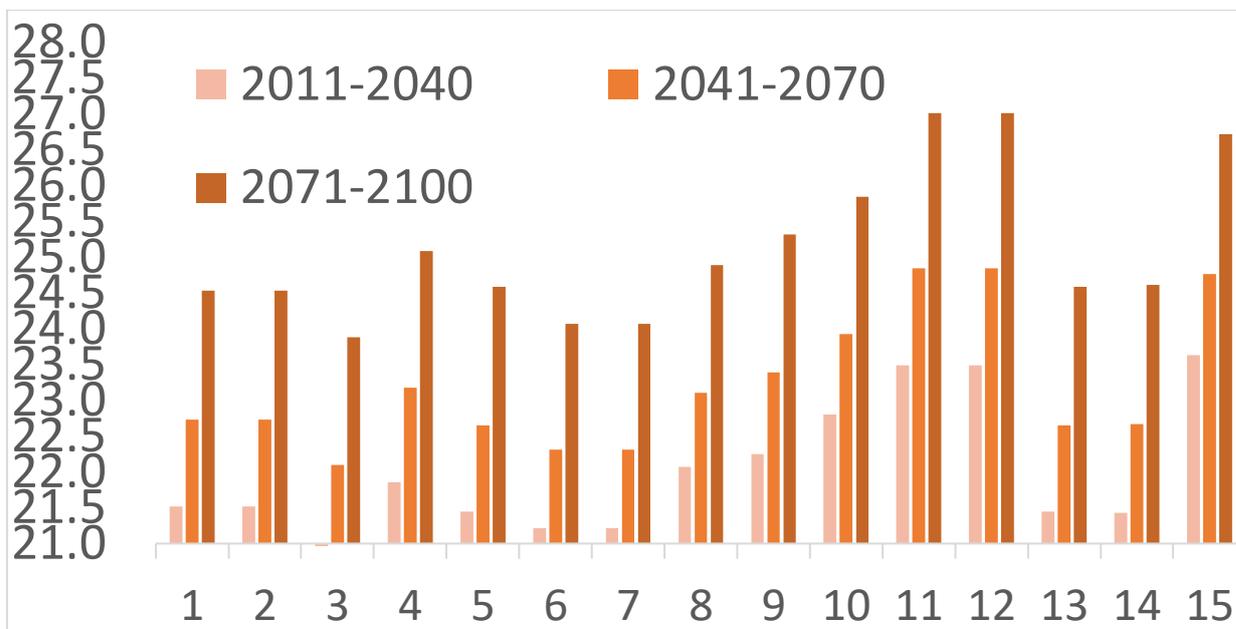


Рис.4.7. Диаграмма осредненных температур по сценарию RCP8.5 за три периода 2011-2100 по модели Micro5 для каждой станции.

Максимальные температуры по трем сценариям достигаются на станциях

Aosta valley и Torino, достигая 25.3 в сценарии RCP8.5 к 2100 году.

Минимум температур 20.7 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Saentis. Следует учитывать, что превышение температур (погрешность) по модели сохраняется.

Изменение средней по району температуры в зависимости от сценария и интервала времени в будущем показано на рис.4.8.

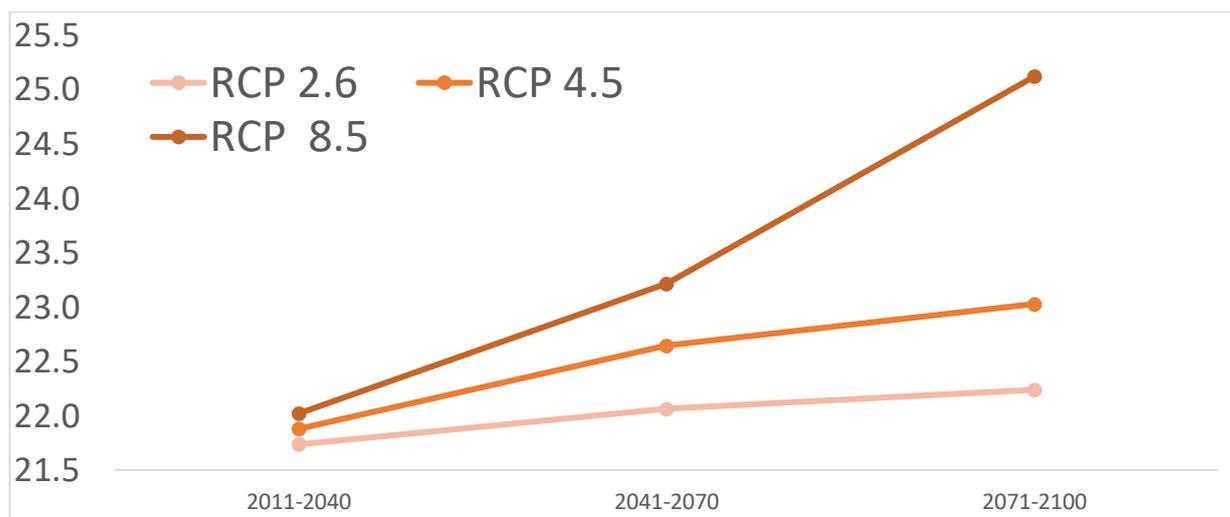


Рис.4.8 График средних по всей территории температур за три периода 21 века по трем сценария для модели климат Micro5

Ход будущих температур по трем сценариям имеет наибольшую разницу в 2.9°C к 2100 году

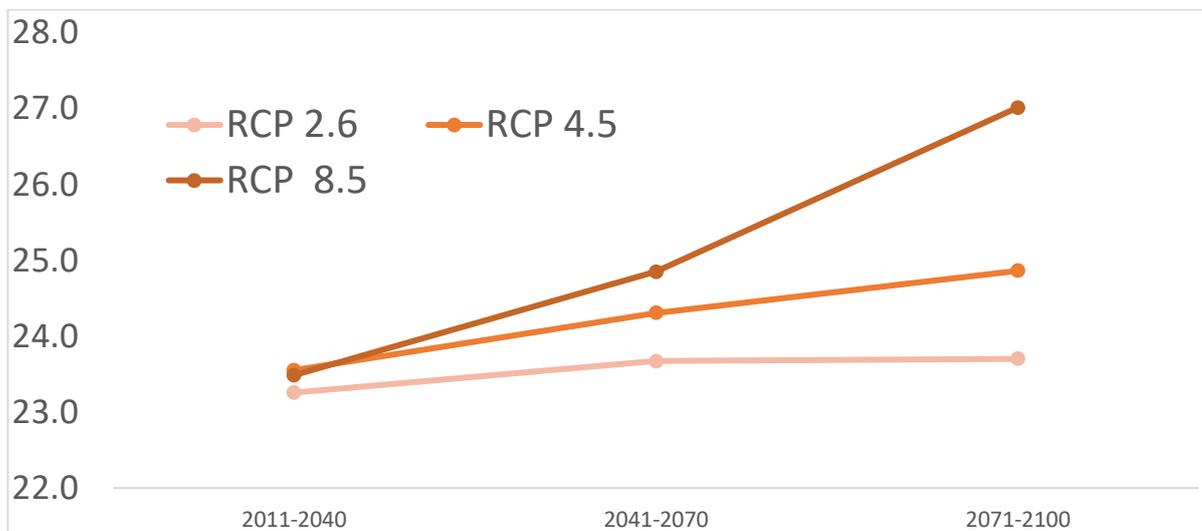


Рис.4.9. График средних температур станции Aosta valley за три периода 21 века по трем сценариям для модели Micro5

Можно обнаружить, что как им полагалось, сценарий 2.6. идет к 2070 году на завышение, а потом на понижение температур, достигая разницы в 3.3°C к 2100 году со сценарием 8.5

Пример хронологических графиков сценарных значений температур июля до 2100 г. по метеостанции Aosta valley приведен на рис.4.10

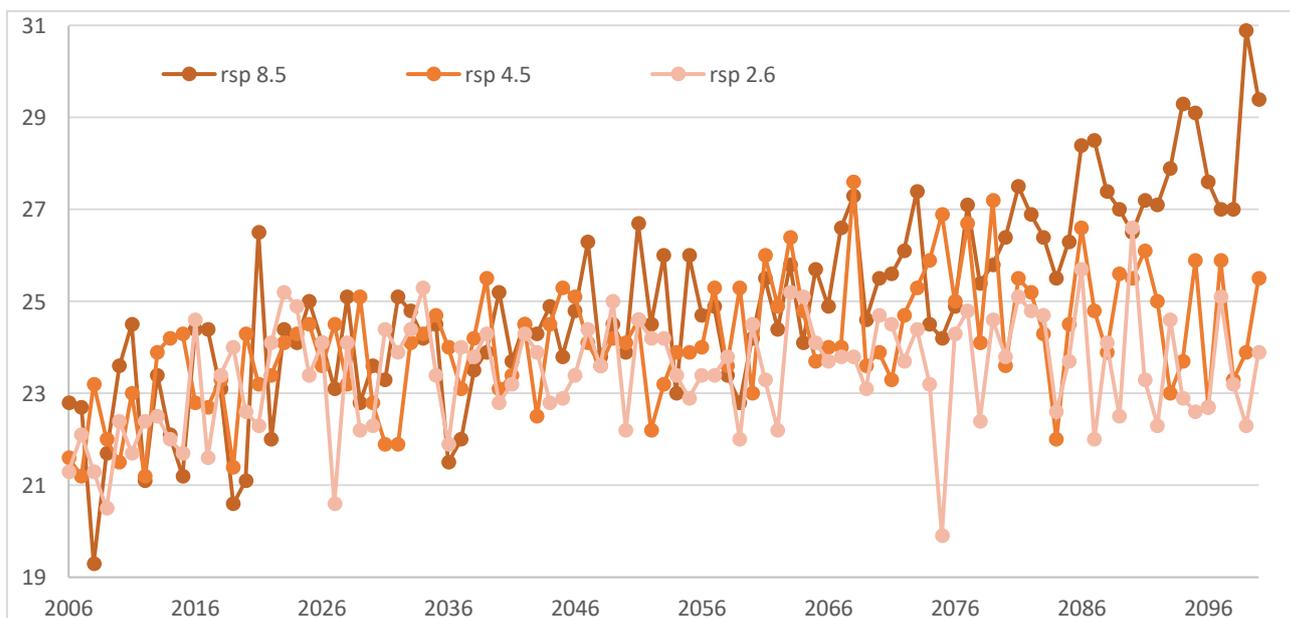


Рис.4.10. Хронологические графики температур на станции Aosta valley по трем сценариям модели Micro5.

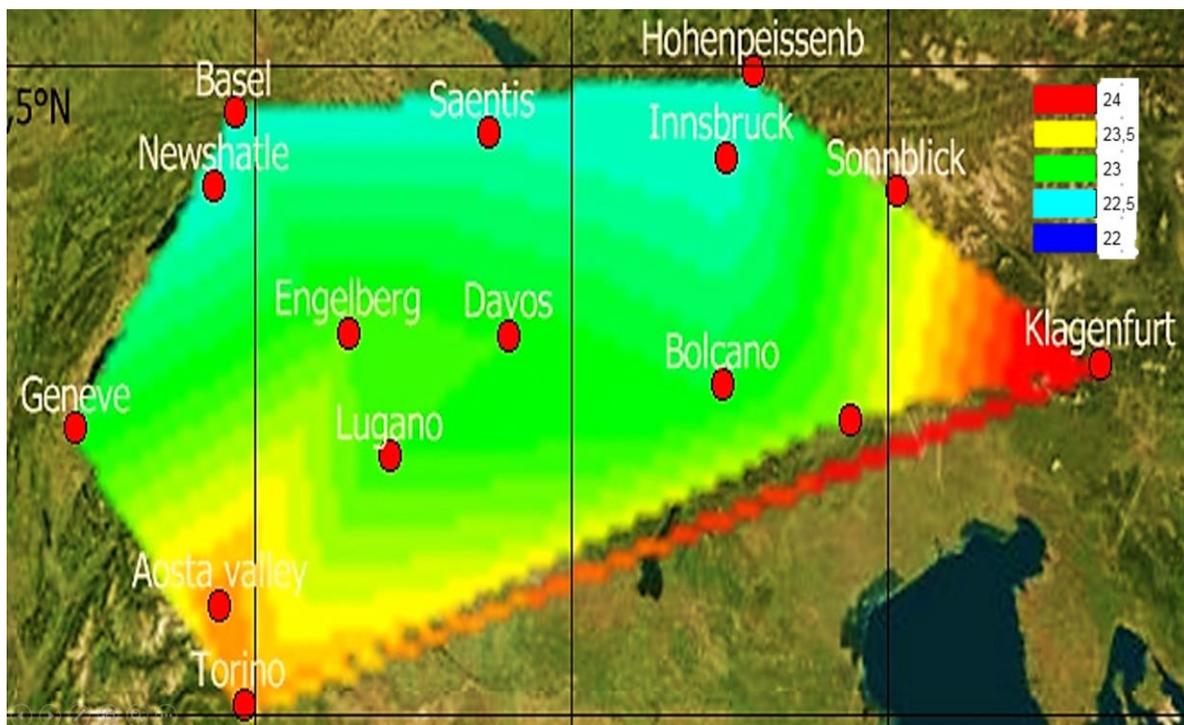


Рис. 4.11 Распределение оценок сценарных оценок температур июля в RCP4.5 по модели Micro5 Альпийского региона

Распределение идет с юго и юго-востока. На севере минимальные температуры, максимум температур в самых южных пунктах (Турин и Аоста), самые низкие в высотных пунктах, например Зентис. Но следует учитывать превышение по модели с существенной погрешностью.

Полученные сценарные значения температур на каждой станции с учетом поправок приведены в табл. 4.5 для трех сценариев и за 3 интервала времени в будущем по модели MICROC.

Таблица 4.5

Сценарные оценки температур воздуха до конца XXI века
в °C по модели MICROC

	6601	6604	6680	6700	6784	10962	11320	11343	16020	16021	16054	16059	67701	6655	11231
RCP2.6															
2011-2040	21.4	21.4	21.5	21.6	22.1	21.5	21.5	22.1	21.8	22.1	22.5	22.5	22.1	22.0	23.1
2041-2070	21.9	21.9	22.0	22.2	22.5	22.1	22.1	22.7	22.5	22.9	23.0	23.0	22.5	22.4	23.7
2071-2100	21.7	21.7	21.8	22.0	22.2	22.0	22.0	22.7	22.4	22.8	22.7	22.7	22.2	22.1	23.8
RCP 4.5															
2011-2040	21.5	21.5	21.5	21.7	21.9	21.6	21.6	22.1	22.0	22.3	22.4	22.4	21.9	21.8	23.0
2041-2070	22.5	22.5	22.5	22.8	22.9	22.5	22.5	23.2	22.8	23.2	23.5	23.5	22.9	22.9	24.2
2071-2100	22.6	22.6	22.7	23.0	23.1	22.6	22.6	23.3	23.0	23.3	23.8	23.8	23.1	23.2	24.4
RCP 8.5															
2011-2040	21.7	21.7	21.7	21.9	22.1	21.8	21.8	22.4	22.3	22.6	22.6	22.6	22.1	22.1	23.3
2041-2070	23.6	23.6	23.6	23.9	24.0	23.8	23.8	24.4	24.2	24.5	24.6	24.6	24.0	23.9	25.4
2071-2100	26.5	26.5	26.5	27.0	27.0	26.4	26.4	27.0	26.9	27.2	27.6	27.6	27.0	27.0	28.1

Аналогичные данные в виде столбчатых диаграмм для сценариев RCP2.6, 4.5 и 8.5 для каждой станции и последовательно за 3 тридцатилетий 21 века показаны на рис.4.11 – 4.13.

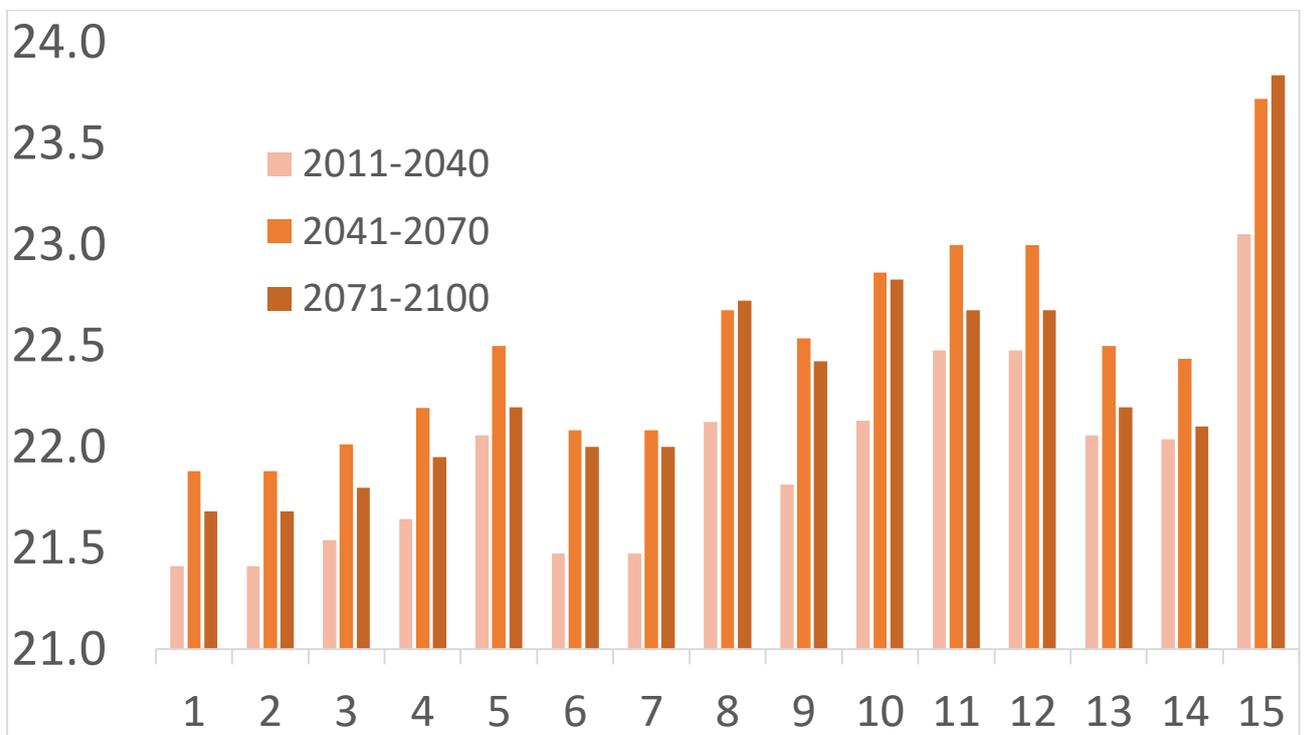


Рис.4.12. Диаграмма осредненных температур по сценарию RCP2.6 за три периода 2011-2100 по модели MICROC для каждой станции.

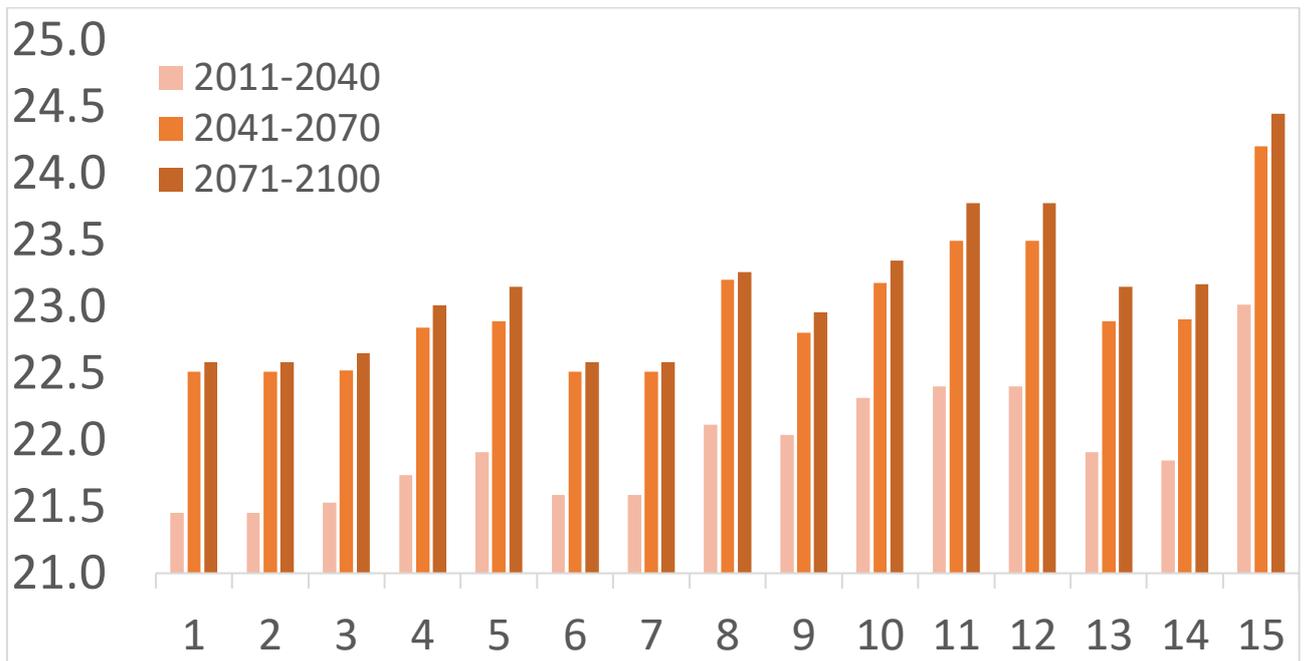


Рис.4.13. Диаграмма осредненных температур по сценарию RCP4.5 за три периода 2011-2100 по модели MICROC для каждой станции.

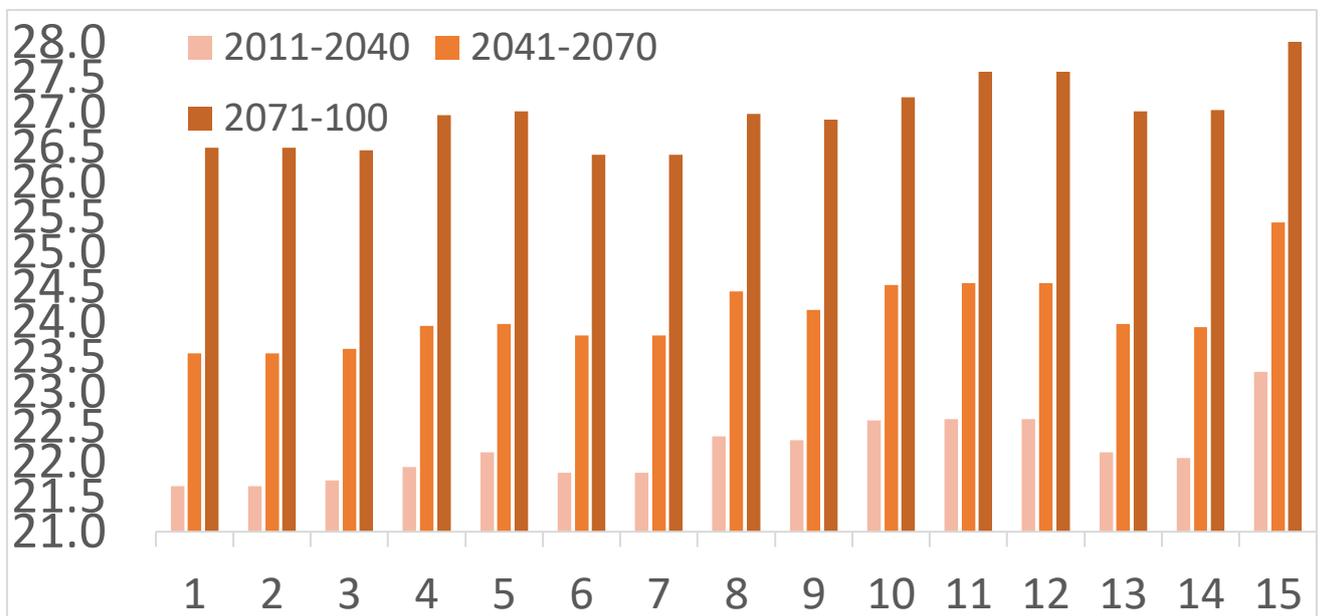


Рис.4.14. Диаграмма осредненных температур по сценарию RCP8.5 за три периода 2011-2100 по модели MICROC для каждой станции.

Максимальные температуры по трем сценариям достигаются на станциях

Klagenfurt, достигая 28.1 в сценарии RCP8.5 к 2100 году. Минимум температур 21.4 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Basel . Следует учитывать, что превышение температур (погрешность) по модели сохраняется.

Изменение средней по району температуры в зависимости от сценария и интервала времени в будущем показано на рис.4.15

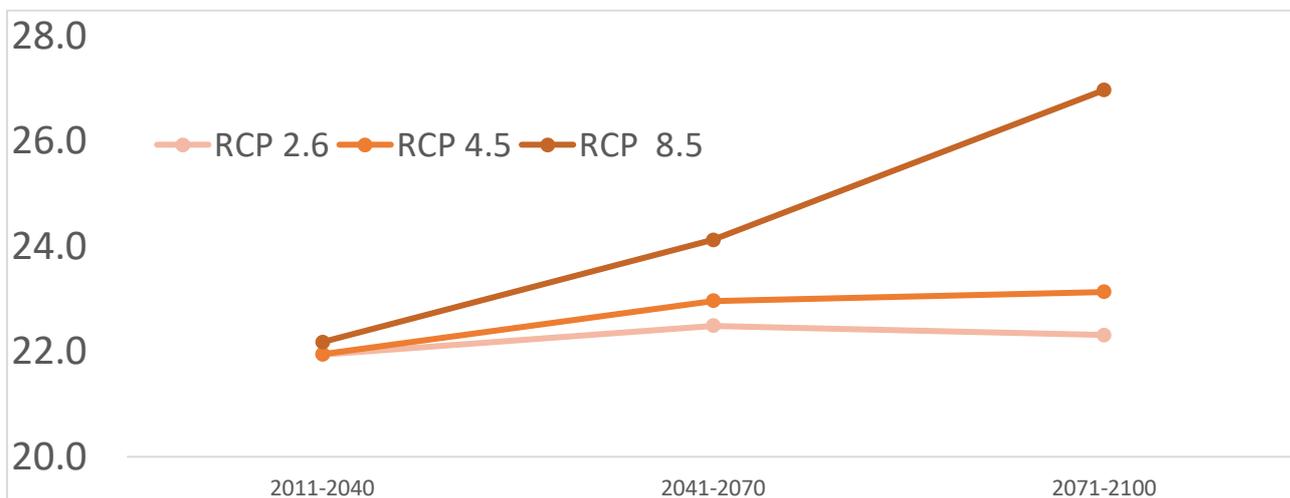


Рис.4.15 График средних по территории температур за три периода 21 века по трем сценария для модели климат MICROC

Ход будущих температур по трем сценариям имеет наибольшую разницу в 4.7°C к 2100 году

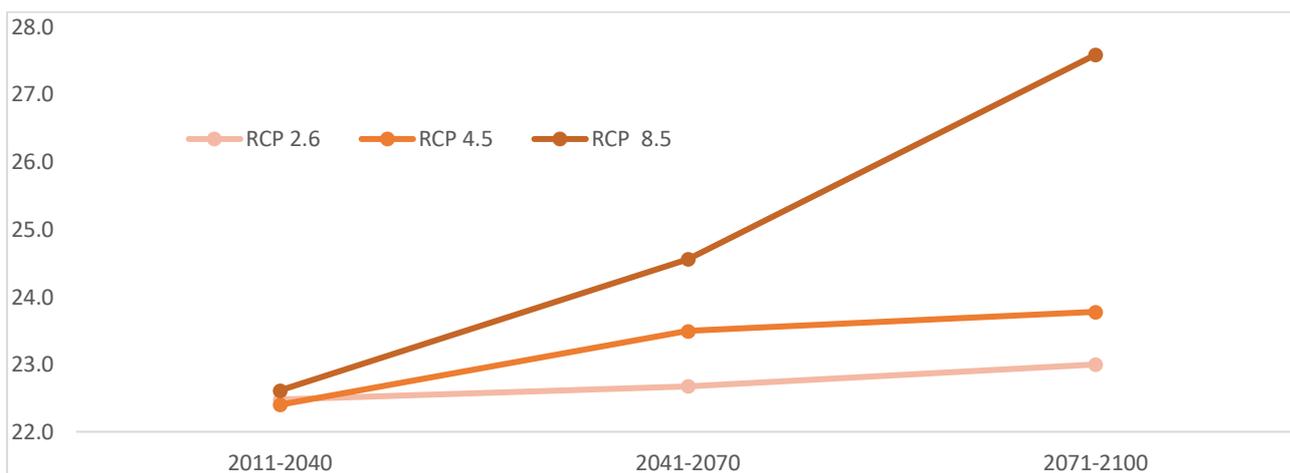


Рис.4.16. График средних температур станции Aosta valley за три периода 21 века по трем сценариям для модели MICROC

Сценарий 2.6. идет к 2070 году на завышение, а потом на понижение температур, достигая разницы в 4.7°C к 2100 году со сценарием 8.5

Пример хронологических графиков сценарных значений температур июля до 2100 г. по метеостанции Aosta valley приведен на рис.4.14.

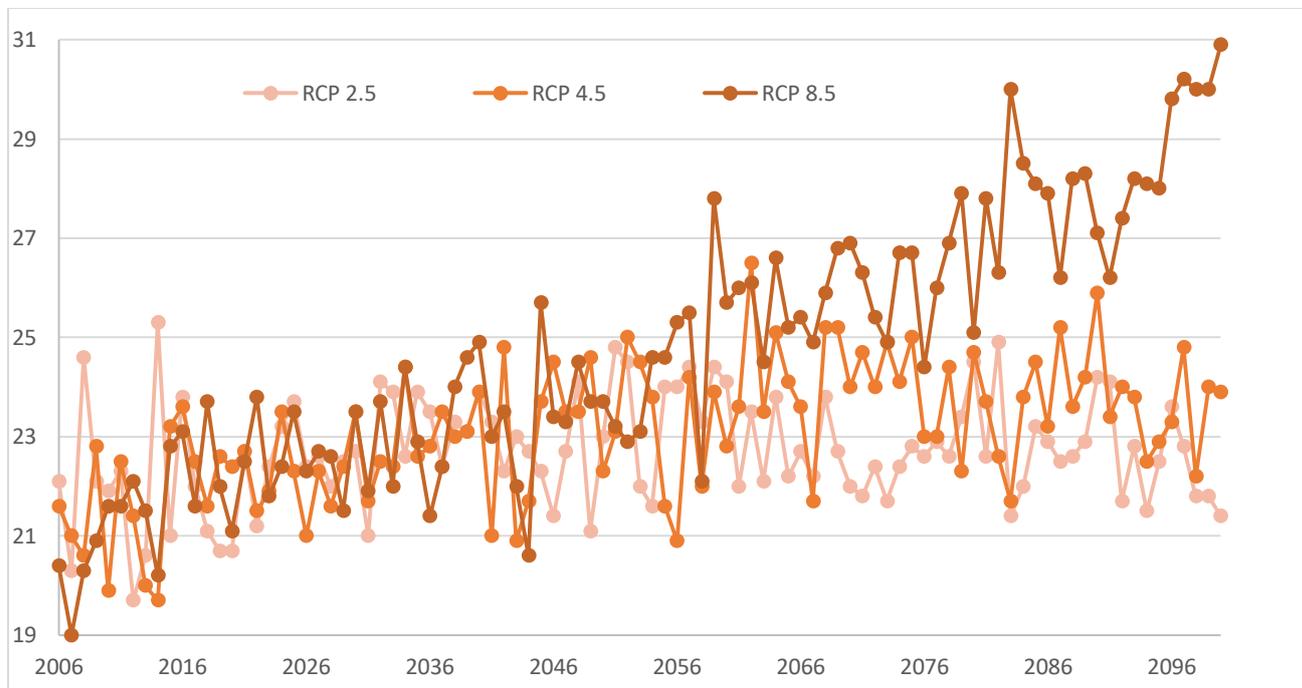


Рис.4.17. График хода температур на станции Aosta valley по трем сценарным прогнозам MICROС

4.5 Расчет эффективной климатической модели Альпийского региона по результатам исторического эксперимента по температурам января

Оценка эффективности и выбор подходящей модели для Альпийского региона проведены на основе сопоставления средних многолетних наблюдаемых и смоделированных температур воздуха января. .

Таблица 4.6

Разности средних многолетних температур января, полученных по историческому эксперименту и по данным наблюдений января

модель/ станция	BNU	FIO	INM	IPSL	BCC	Micro5	MICROC	MPI	NorESM	ср
6555	4.8	6.6	2.4	2.9	4.0	3.0	6.5	2.1	4.6	4.1
11231	6.3	8.2	3.9	4.4	5.6	4.6	8.1	3.7	6.3	5.7

16059	-1.1	1.0	-3.8	-4.6	-2.0	-3.5	1.1	-4.3	-1.6	2.6
67701	0.4	1.9	-2.8	-2.3	-0.6	-1.9	1.8	-2.5	0.3	1.6
16054	2.4	4.4	-1.0	-3.4	1.3	-0.8	4.8	-0.6	1.7	2.3
6784	6.6	8.8	4.6	2.3	5.7	3.7	9.3	3.5	5.8	5.6
6700	-0.1	2.3	-1.9	-4.2	-0.9	-2.8	2.8	-3.1	-0.5	2.1
6680	8.2	10.7	6.9	4.7	7.4	5.6	11.7	5.6	7.9	7.6
6601	0.6	2.9	-1.5	-5.1	-0.4	-2.4	3.7	-1.9	-0.1	2.1
10962	2.8	5.2	1.1	-2.3	1.8	0.0	6.3	0.6	2.1	2.5
11320	6.0	7.6	1.6	0.1	5.2	2.7	8.0	2.5	5.6	4.4
11343	16.3	17.6	11.8	10.3	15.3	12.7	18.1	12.7	15.6	14.5
16020	1.4	3.4	-2.0	-4.3	0.3	-1.8	3.8	-1.6	0.7	2.2
16021	7.1	8.7	3.1	1.9	6.0	3.9	9.0	4.0	6.3	5.6
срот	4.6	6.4	3.5	3.8	4.0	3.5	6.8	3.5	4.2	4.6
срзн	3.3	3.4	2.0	1.6	3.0	1.8	3.4	1.8	3.2	3.3
срот_2	3.3	5.1	2.5	3.2	2.8	2.6	5.4	2.5	3.0	3.3
срзн_2	2.4	2.4	1.0	1.2	2.1	1.0	2.4	1.0	2.3	2.4

Как для табл.4.1., для таблицы 4.6 приведены средние отклонения и среднее для каждой модели. Оценка эффективности модели проводилась поочередно по двум критериям.

В табл. 4.7 указаны станции в порядке возрастания высоты над уровнем моря. Вновь высотные станции имеют наибольшее, а также идет завышение разности температур. На самой высокой станции на высоте 3106 м (Sonnblick) превышение средних многолетних по историческому эксперименту на наблюдаемым значением составляет 14,5°C.

Таблица 4.7

Разности средних температур по историческому эксперименту и наблюдениям температур по всем моделям и по станциям в порядке возрастания высоты

Название	Код	Высота (м)	Разности (°C)
Torino	16059	239	2.6
Basel	6601	261	2.1
Bolcano	16020	262	2.2

Lugano	67701	273	1.6
Geneve	6700	375	2.1
Klagenfurt	11231	446	5.7
Innsbruck	11320	574	4.4
Hohenpeissenb	10962	780	2.5
Engelberg	6655	1013	4.1
Davos	6784	1560	5.6
PassoRolle	16021	1989	5.6
Saentis	6680	2502	7.6
Sonnblick	11343	3106	14.5

Был построен график хода разностей температур по различным моделям в зависимости от высоты

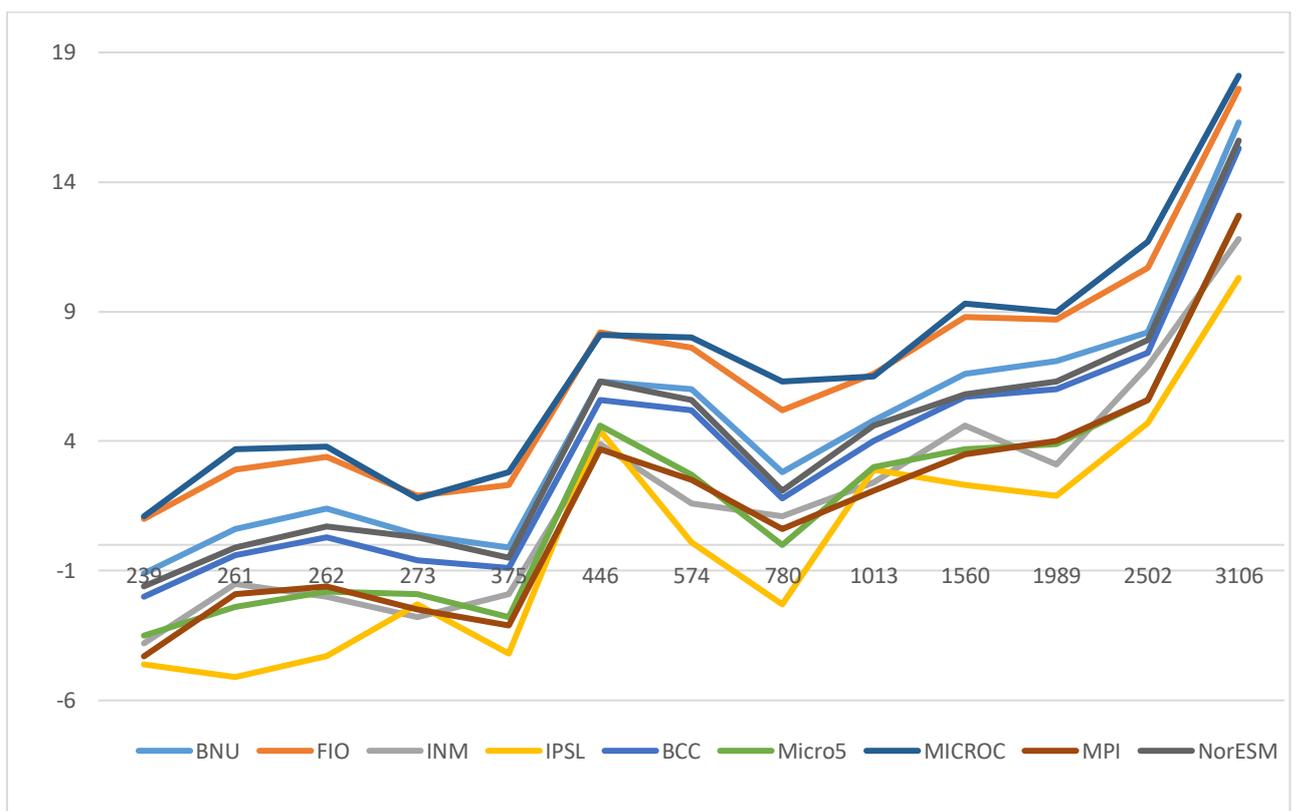


Рисунок 4.19. Ход разностей температур по различным моделям в зависимости от высоты

По графику видно, что начиная с точки с высотой 1989 м, происходит изменение зависимости на более выраженную.

Поэтому был посчитан коэффициент корреляции у выборок: все станции, исключая высотные и собственно сами PassoRolle, Saentis, Sonnblick (таблица 4.5.3), где «Корреляция» - все станции кроме высотных, «Корреляция_2» - только высокогорные станции.

Таблица 4.8

Коэффициенты корреляции моделей с данными наблюдений в среднем по району

Модель	BNU	FIO	INM	IPSL	Micro5	MICROC	MPI	NorESM	BCC
Корреляция	0.88	0.89	0.90	0.84	0.88	0.87	0.90	0.89	0.87
Корреляция_2	0.68	0.71	0.78	0.65	0.69	0.67	0.72	0.69	0.66

Пространственные распределения разностей температур для модели для наиболее подходящих для данной территории моделей (MICROC и Micro5), имеющих наименьшую по абсолютной величине разность, приведены на рис.4.19 и 4.20

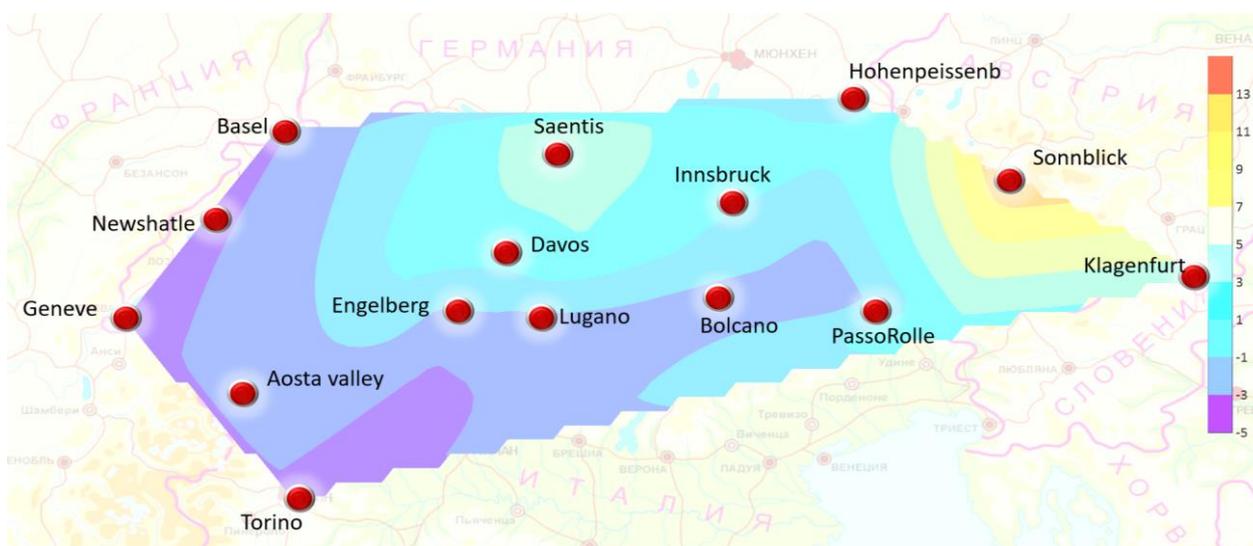


Рис.4.20 Пространственные распределения разниц температур модели MPI

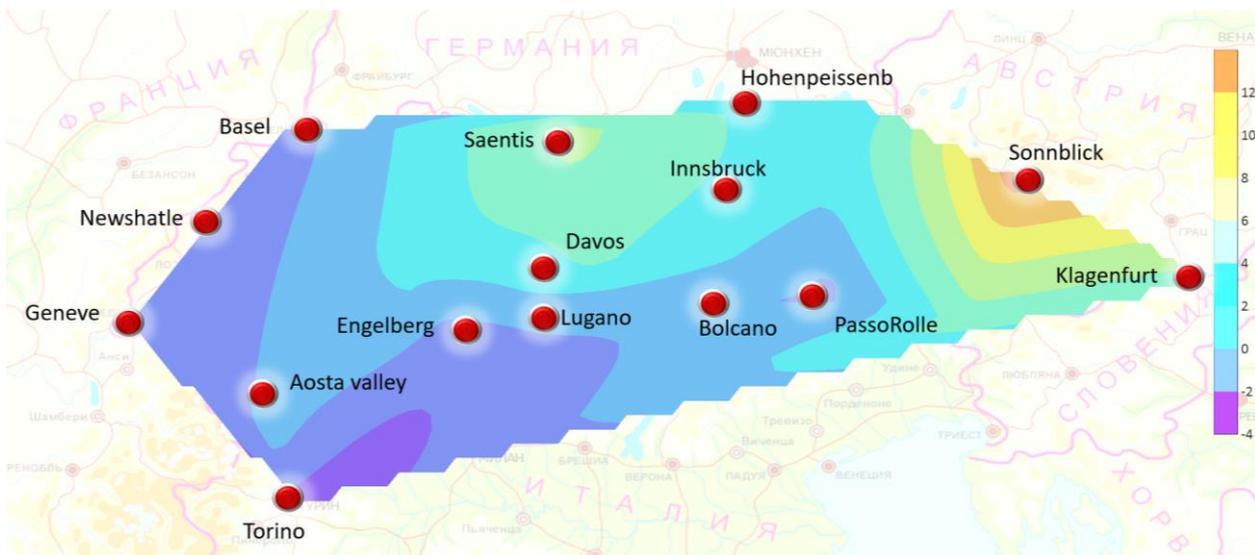


Рис.4.21 Пространственные распределения систематических погрешностей модели Micro5

Описывая рис.4.5.2, можно сказать что распределение идет с севера-востока на юго-запад, достигая в точке Sonnblick 12.7°C , и -4.3°C в Torino..

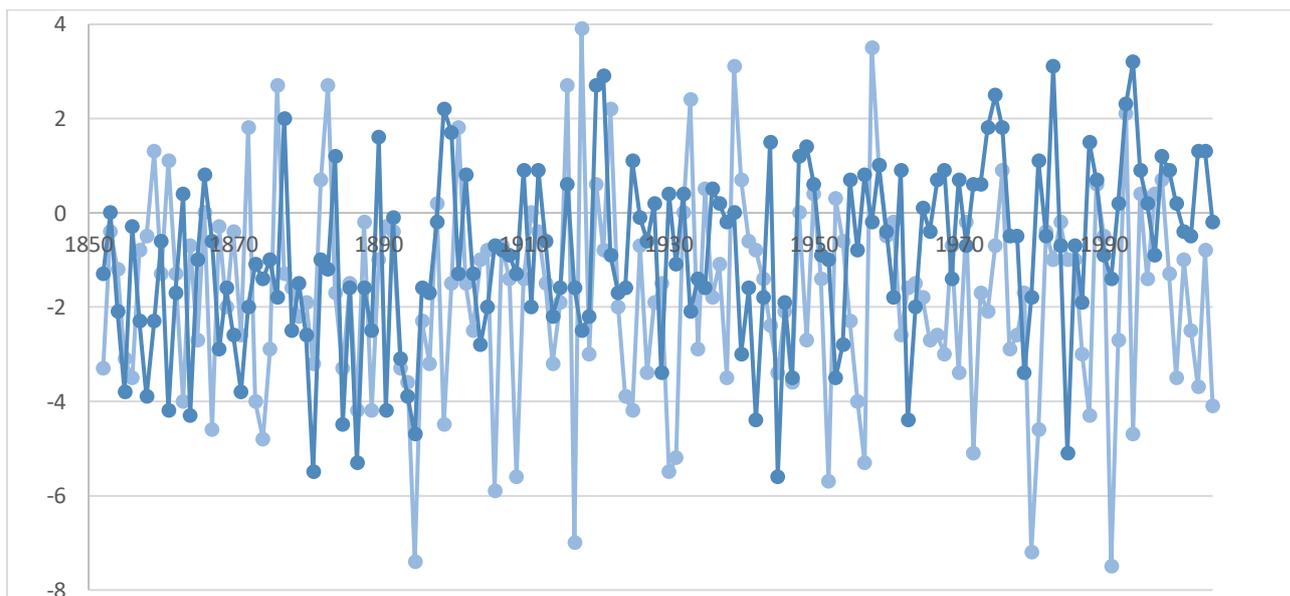


Рис 4.22 Графики исторического эксперимента и наблюдения на станции Aosta valley в модели MRI

Среднее значение эксперимента -1.5°C ., наблюдения 0.9°C , усредненная разница 69%

Таблица 4.9

Сценарные оценки температур воздуха до конца XXI века в °С по модели

	6601	6604	6680	6700	6784	10962	11320	11343	16020	16021	16054	16059	67701	6655	11231
RCP2.6															
2011-2040	1.4	1.4	-0.1	1.9	-0.2	-0.9	-0.9	-1.0	-0.5	-0.4	1.5	1.5	-0.2	0.4	0.0
2041-2070	1.9	1.9	0.5	2.6	0.5	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	0.5	2.3	2.3	0.5	1.0	0.9
2071-2100	1.3	1.3	-0.1	1.7	-0.2	-0.8	-0.8	-0.7	-0.3	-0.1	1.4	1.4	-0.2	0.3	0.6
RCP 4.5															
2011-2040	1.1	1.1	-0.4	1.7	-0.4	-1.1	-1.1	-1.1	-0.7	-0.5	1.4	1.4	-0.4	0.1	0.2
2041-2070	2.0	2.0	0.5	2.6	0.5	-0.2	-0.2	-0.3	0.2	0.3	2.3	2.3	0.5	1.1	0.8
2071-2100	2.6	2.6	1.2	3.2	1.2	0.6	0.6	0.7	1.1	1.3	2.9	2.9	1.2	1.7	2.0
RCP 8.5															
2011-2040	1.8	1.8	0.3	2.3	0.3	-0.4	-0.4	-0.3	0.1	0.3	2.1	2.1	0.3	0.8	0.8
2041-2070	2.5	2.5	1.2	3.0	1.1	0.5	0.5	0.5	1.0	1.1	2.8	2.8	1.1	1.6	1.8
2071-2100	4.7	4.7	3.4	5.2	3.4	2.7	2.7	2.7	3.2	3.4	5.0	5.0	3.4	3.8	3.9

в °С по модели Micro5

Данные в виде столбчатых диаграмм для сценариев RCP2.6, 4.5 и 8.5 для каждой станции и последовательно за 3 тридцатилетия 21 века показаны на рис.4.23 – 4.25(здесь и далее, номера 1-15 соответствуют станциям в порядке таблицы 4.4)

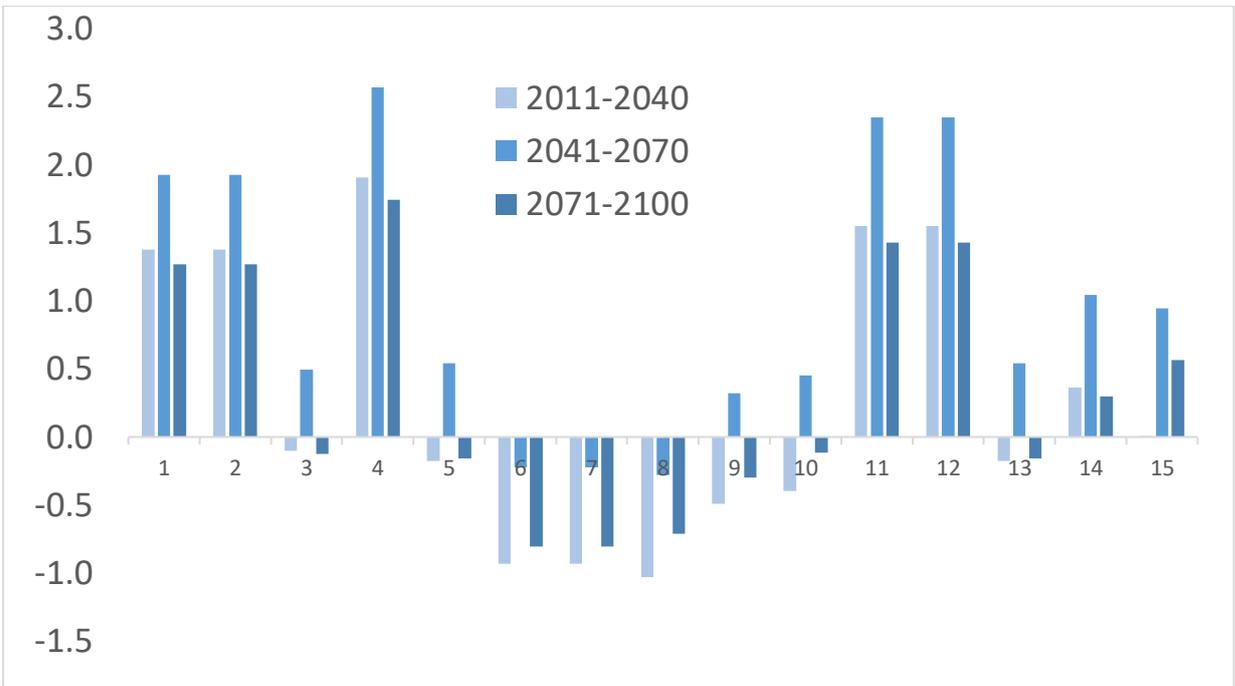


Рис. 4.23 Гистограмма осредненных температур за сценарий RCP2.6 в три периода за 2011-2100 по модели Micro5 по каждой станции

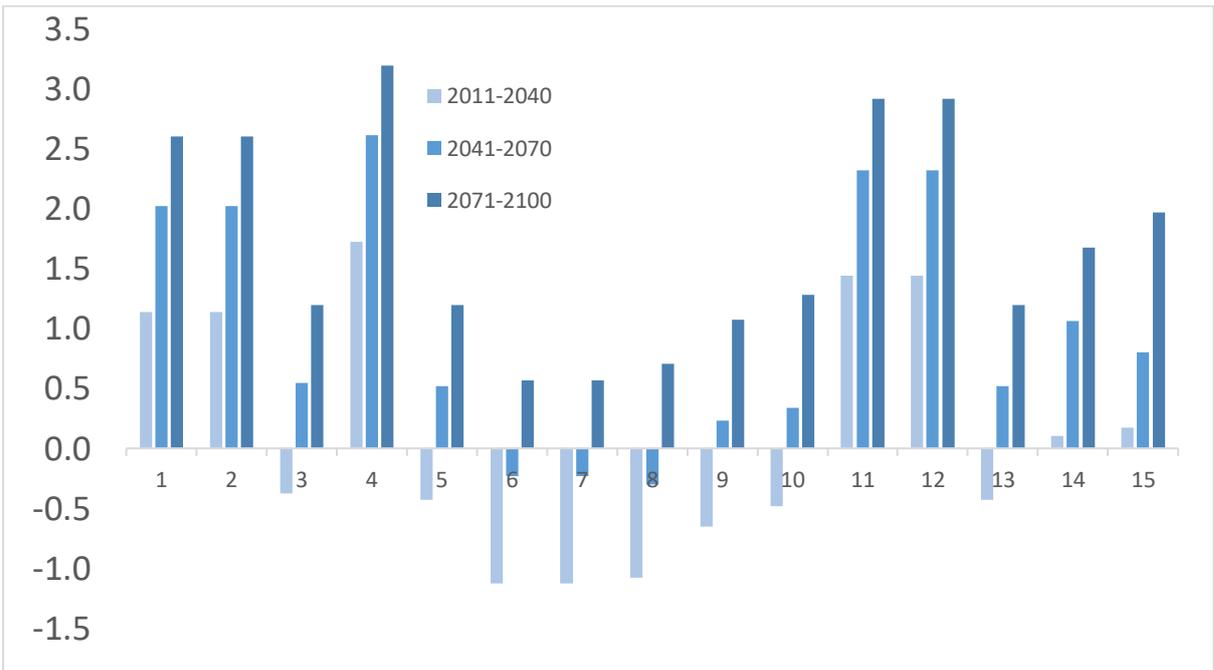


Рис. 4.24 Гистограмма осредненных температур за сценарий RCP 4.5 в три периода за 2011-2100 по модели Micro5 по каждой станции

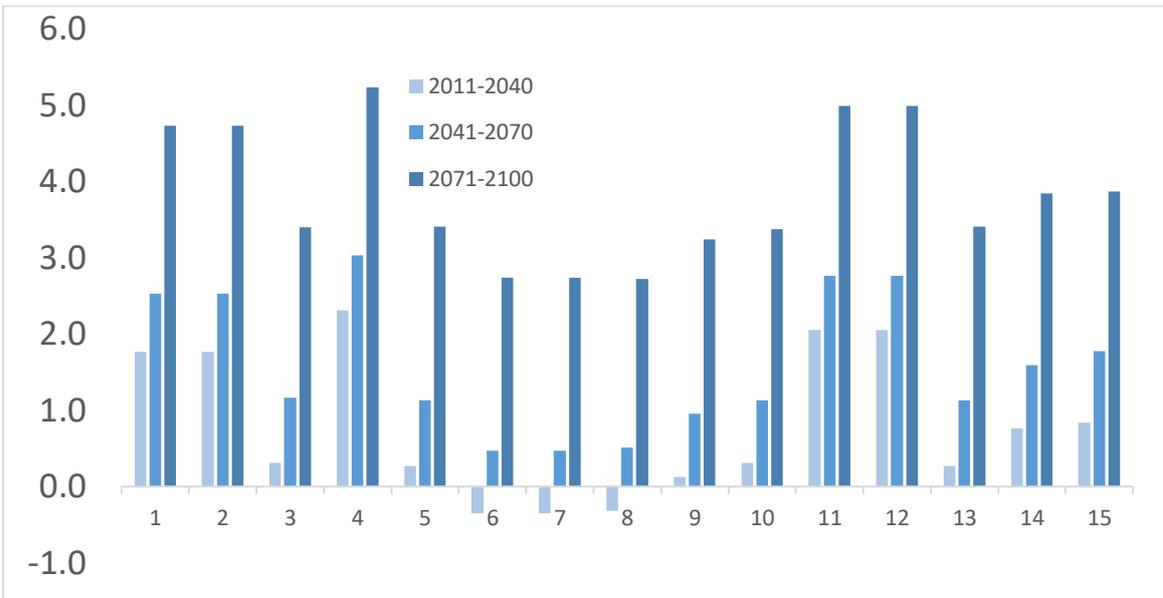


Рис. 4.25 Гистограмма осредненных температур за сценарий RCP 8.5 в три периода за 2011-2100 по модели Micro5 по каждой станции

Максимальные температуры по трем сценариям достигаются на станции Geneve достигая 5.2 в сценарии RCP8.5 к 2100 году. Минимум температур -0.1 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Basel . Следует учитывать, что превышение температур (погрешность) по модели сохраняется.

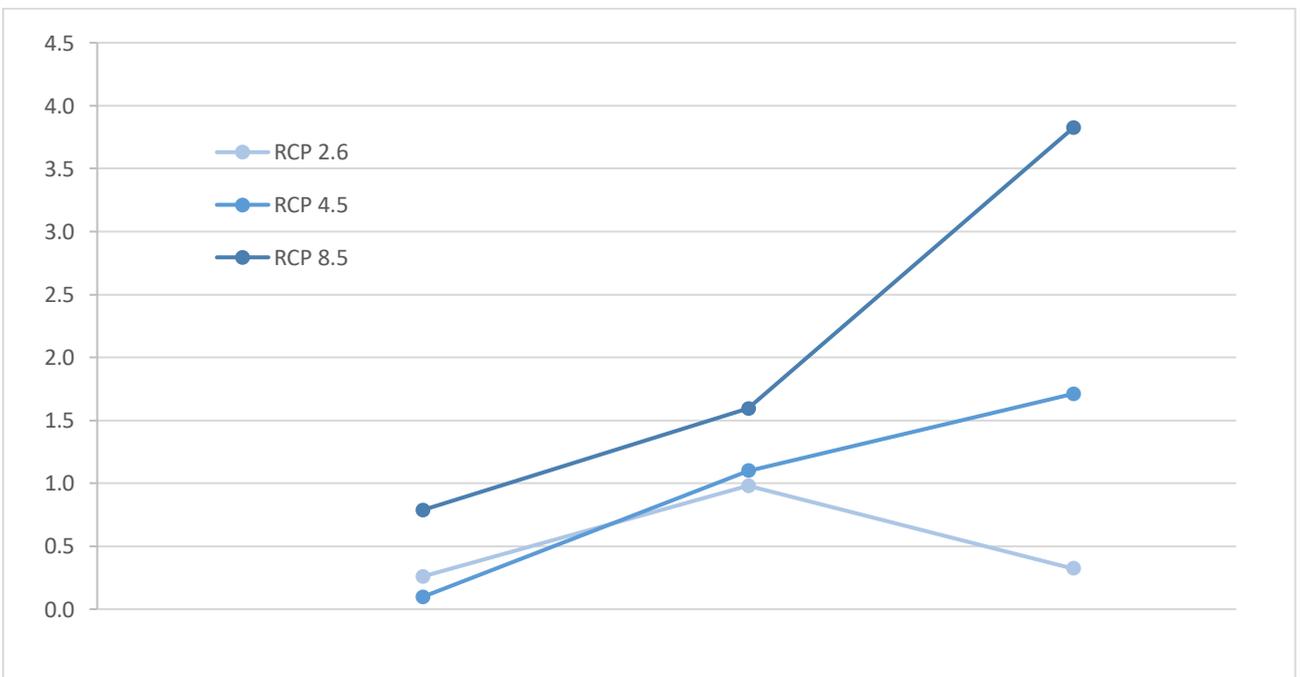


Рис.4. 26 График средних по всей территории температур за три периода 21 века по трем сценария для модели климат Micro5

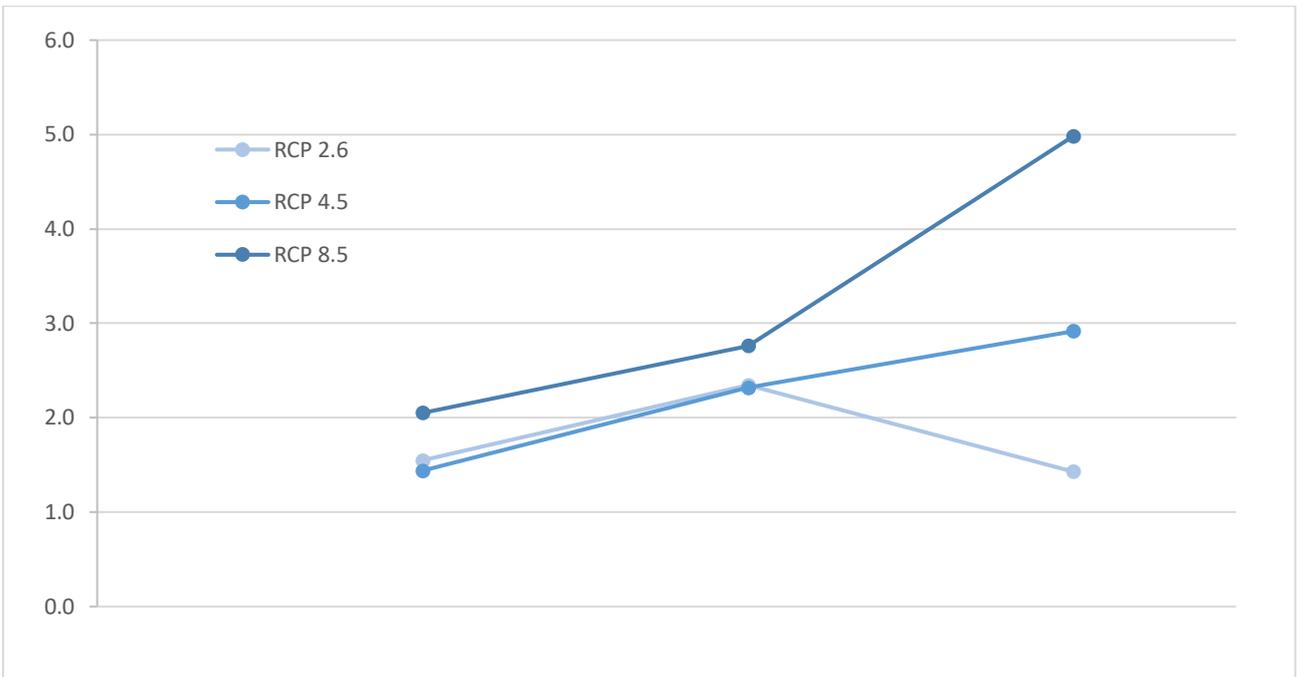


Рис. 4.27 График хода температур на станции Aosta valley по трем сценарным прогнозам Micro5

Ход будущих температур по трем сценариям имеет наибольшую разницу в 3.5°C к 2100 году

Пример хронологических графиков сценарных значений температур января до 2100 г. по метеостанции Aosta valley приведен на рис.4.29

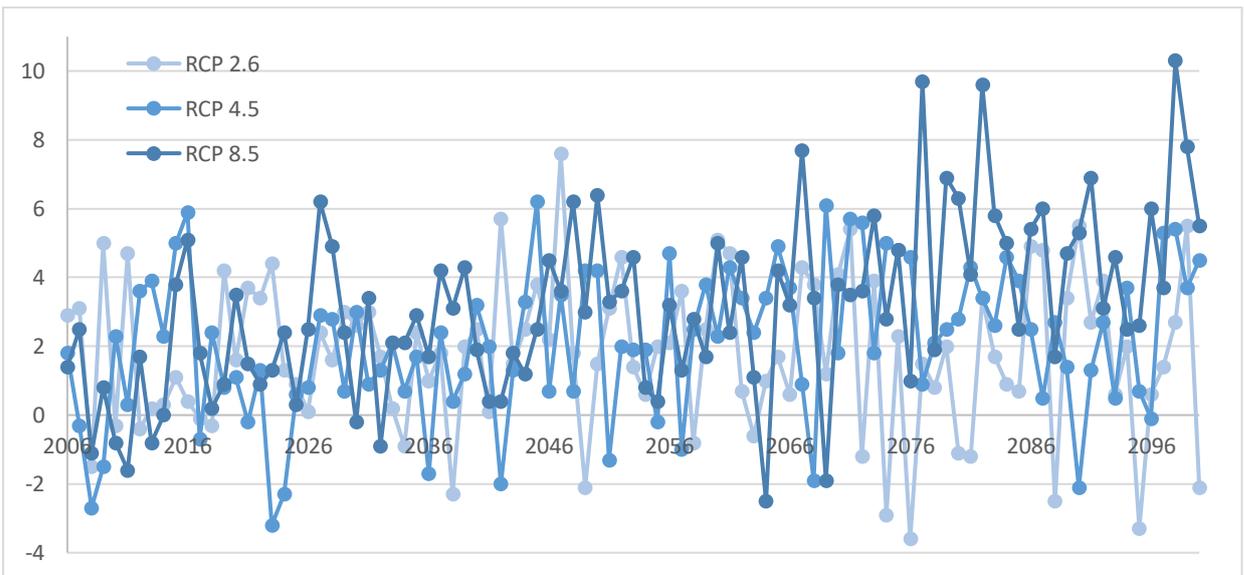


Рис.4.28 График хода температур на станции Aosta valley по трем сценарным прогнозам Micro5

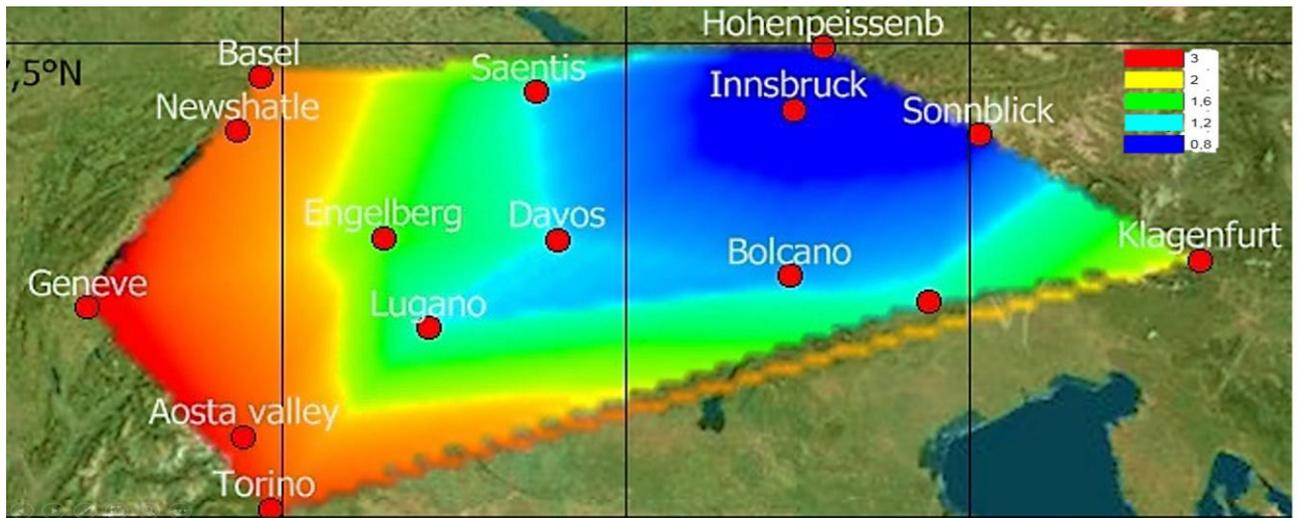


Рис 29 Распределение оценок сценарных оценок температур июля в RCP4.5 по модели Micro5 Альпийского региона

Таблица 4. 10

Сценарные оценки температур воздуха до конца XXI века в °С по модели MPI

	6601	6604	6680	6700	6784	10962	11320	11343	16020	16021	16054	16059	67701	6655	11231
RCP2.6															
2011-2040	0.2	0.2	-1.0	1.1	-0.1	-1.4	-1.4	-1.1	-0.1	0.1	1.2	1.2	-0.1	0.1	0.7
2041-2070	1.3	1.3	0.2	2.2	1.0	-0.3	-0.3	0.0	1.0	1.3	2.3	2.3	1.0	1.2	2.0
2071-2100	1.0	1.0	-0.2	1.8	0.6	-0.6	-0.6	-0.2	0.7	1.0	1.8	1.8	0.6	0.8	1.8
RCP 4.5															
2011-2040	0.8	0.8	-0.3	1.7	0.5	-0.8	-0.8	-0.5	0.5	0.6	1.9	1.9	0.5	0.7	1.2
2041-2070	1.2	1.2	0.1	2.1	0.9	-0.4	-0.4	-0.3	0.9	1.0	2.3	2.3	0.9	1.2	1.4
2071-2100	2.3	2.3	1.2	3.2	2.0	0.8	0.8	1.0	1.9	2.1	3.2	3.2	2.0	2.2	2.7
RCP 8.5															
2011-2040	0.8	0.8	-0.3	1.7	0.4	-0.7	-0.7	-0.5	0.4	0.6	1.8	1.8	0.4	0.7	1.2
2041-2070	1.9	1.9	0.8	2.8	1.6	0.4	0.4	0.5	1.6	1.7	3.0	3.0	1.6	1.9	2.2
2071-2100	3.2	3.2	2.3	4.0	3.1	2.1	2.1	2.5	3.3	3.6	4.3	4.3	3.1	3.2	4.3

Данные в виде столбчатых диаграмм для сценариев RCP2.6, 4.5 и 8.5 для каждой станции и последовательно за 3 тридцатилетия 21 века показаны на рис.4.29 – 4.31 (здесь и далее, номера 1-15 соответствуют станциям в порядке таблицы 4.4)

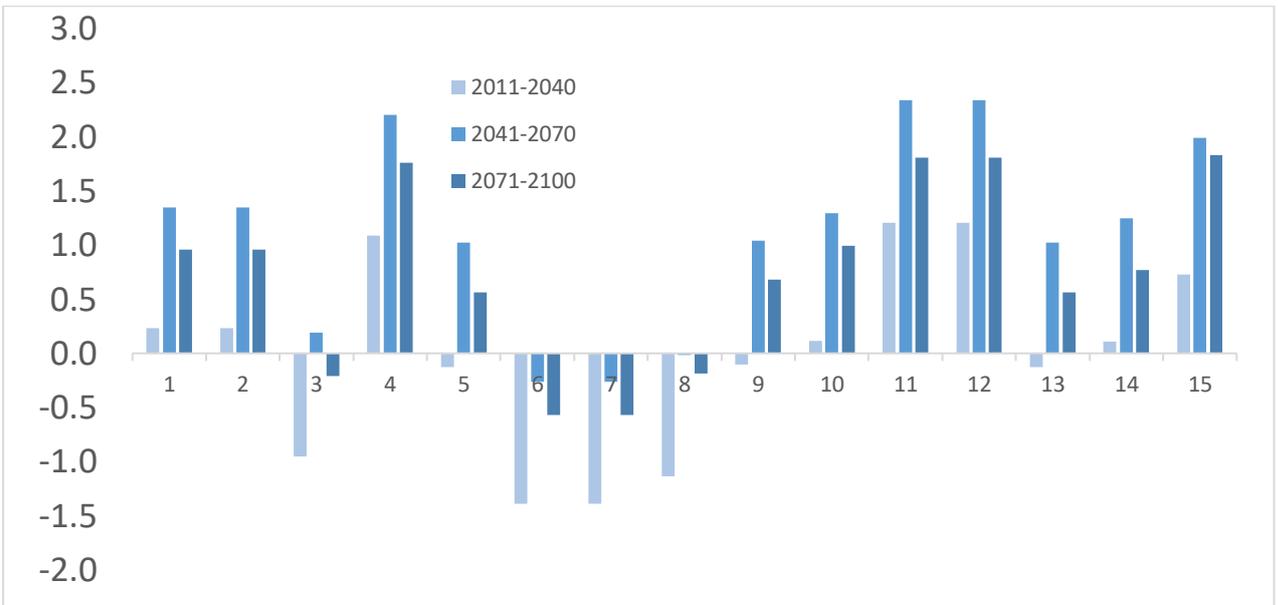


Рис.4.30 Гистограмма осредненных температур за сценарий RCP2.6 в три периода за 2011-2100 по модели MPI по каждой станции

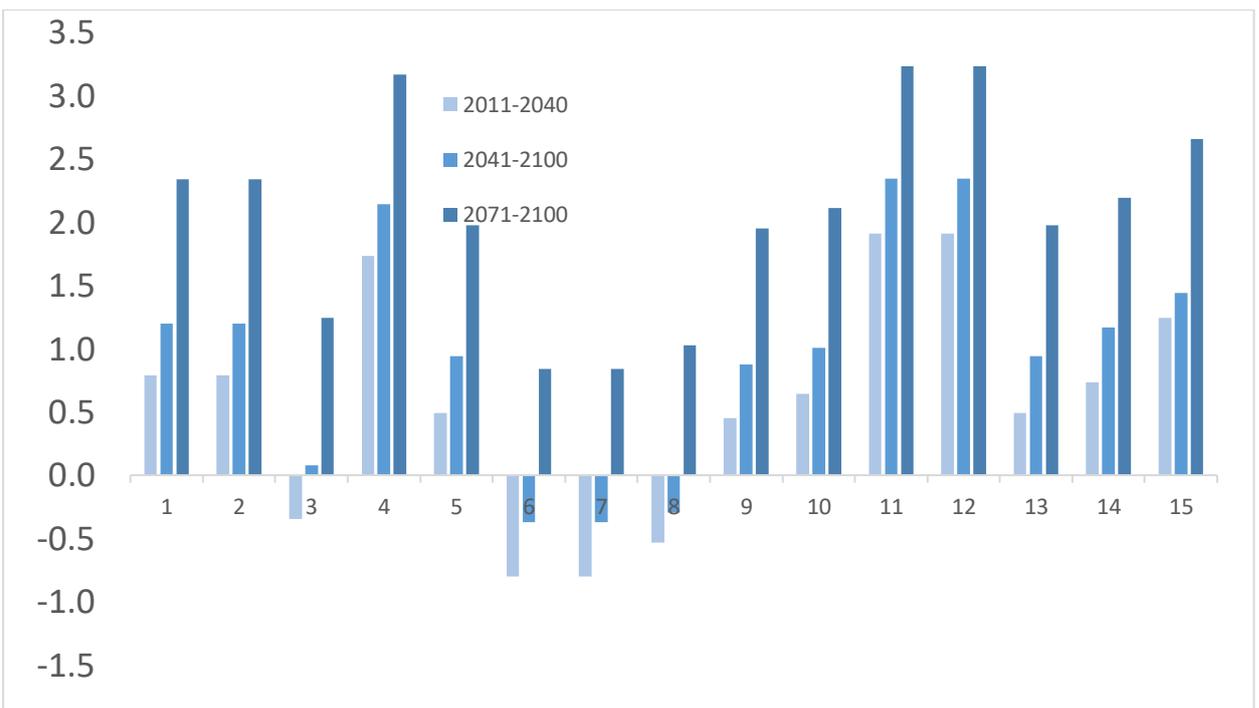


Рис.4.31 Гистограмма осредненных температур за сценарий RCP 4.5 в три периода за 2011-2100 по модели MPI по каждой станции

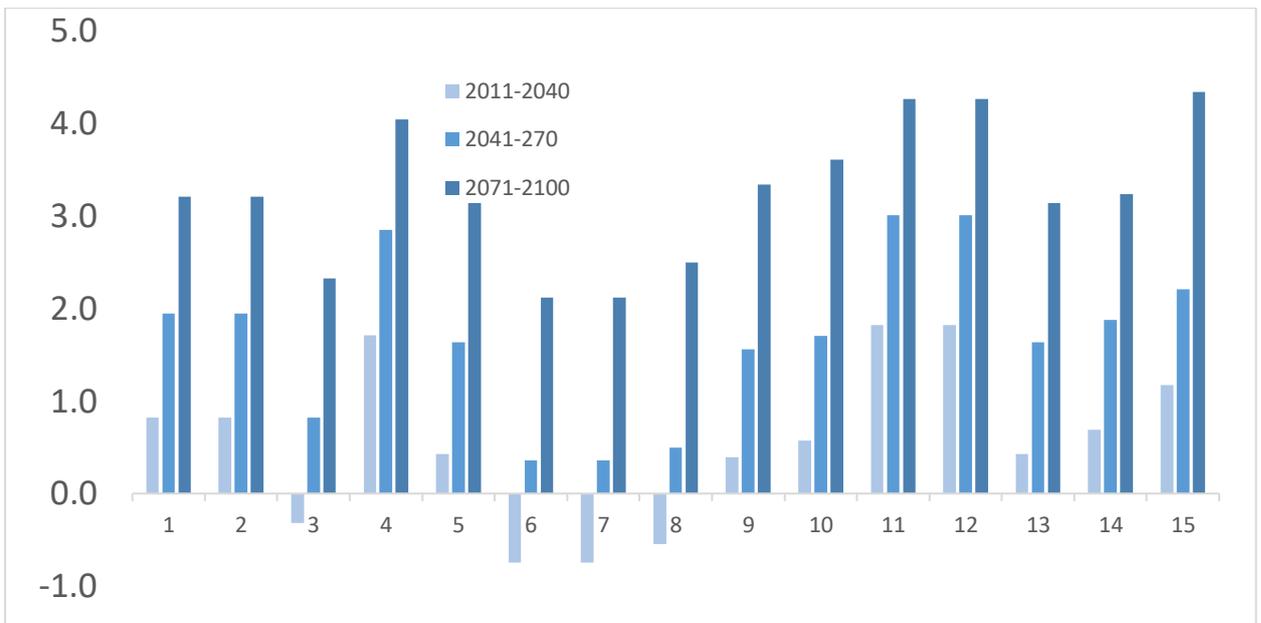


Рис.4.32 Гистограмма осредненных температур за сценарий RCP 8.5 в три периода за 2011-2100 по модели MPI по каждой станции

Максимальные температуры по трем сценариям достигаются на станции Klagenfurt достигая 4.3 в сценарии RCP8.5 к 2100 году. Минимум температур -1.6 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Hohenpeissenb

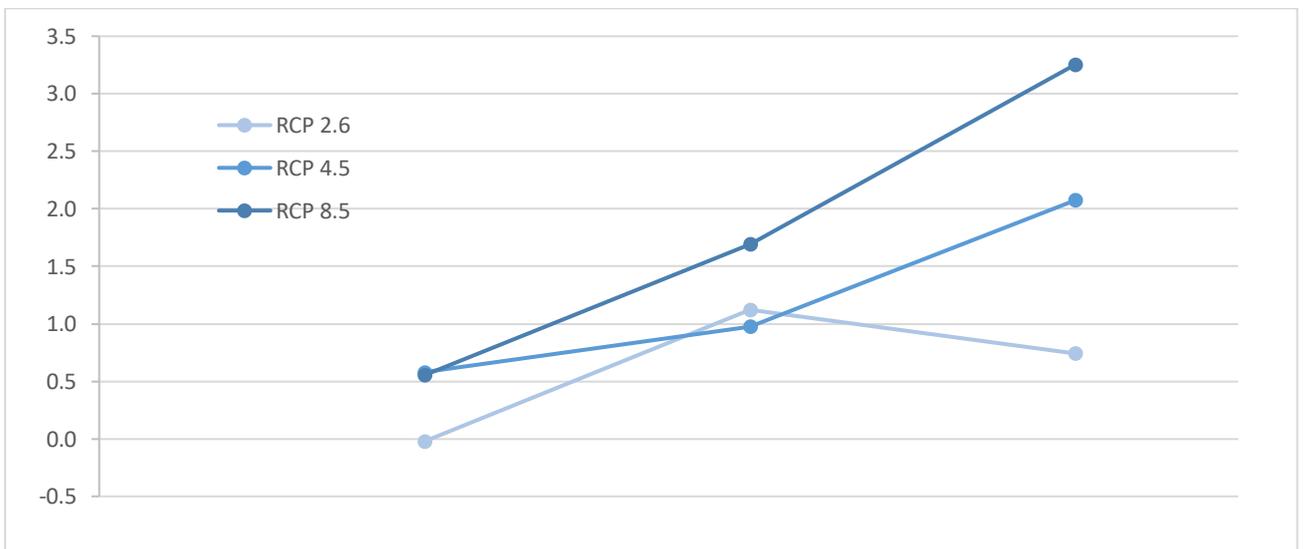


Рис.33 График хода температур на станции Aosta valley по трем сценарным прогнозам MPI

Ход будущих температур по трем сценариям имеет наибольшую разницу в 2.6°C к 2100 году

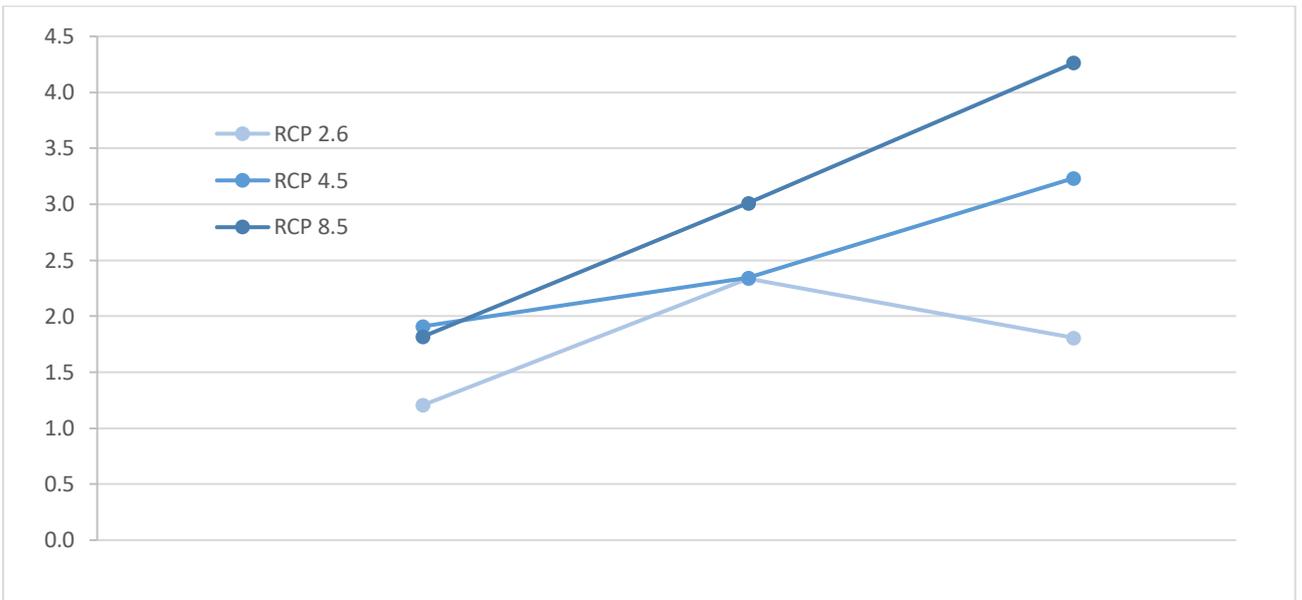


Рис. 34 График хода температур на станции Aosta valley по трем сценарным прогнозам МРІ

Пример хронологических графиков сценарных значений температур января до 2100 г. по метеостанции Aosta valley приведен на рис.4.36

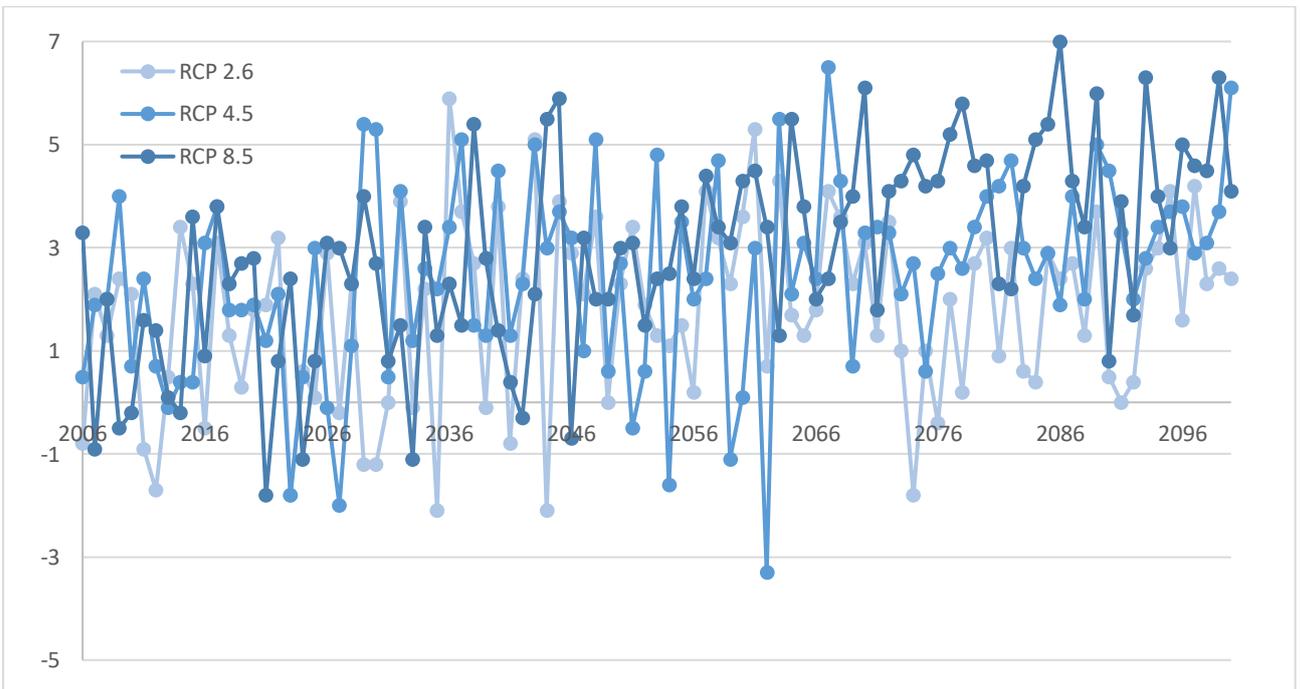


Рис.35 График хода температур на станции Aosta valley по трем сценарным прогнозам МРІ

Заключение

В результате выполненного регионального климатического исследования для территории Альпийского региона получены следующие основные результаты:

1. Сформирована база географической информации: температуры июля и января Альпийского региона
2. Статистически значимых зависимостей от широты и долготы получить не удалось. Имеет место только статистически значимая зависимость от высоты.
3. Среднее потепление по территории исследования в январе составило 1.4°C . Среднее потепление по территории исследования в июле составило 1.3°C .
4. На высотных станциях по всем моделям идет завышение разности температур по результату исторического эксперимента. . На самой высокой станции 3106 м (Sonnblick) составляет $14,5^{\circ}\text{C}$.

Распределение разностей температур июля идет с севера на юго-запад, достигая в точке Saentis 15.0°C , и -4.4°C в Torino. В Sonnblick достигает 16.5°C . В пункте Torino температура занижена на -5.0°C .

Распределение разностей температур января идет с севера-востока на юго-запад, достигая в точке Sonnblick 12.7°C , и -4.3°C в Torino.

5. Будущие проекции температуры для Альп следующие:

Максимальные температуры июля по трем сценариям в модели Micro5 достигаются на станциях Aosta valley и Torino, составляя 25.3 в сценарии RCP8.5 к 2100 году. Минимум температур 20.7 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Saentis. В модели MICROC достигаются на станциях Klagenfurt, достигая 28.1 в сценарии RCP8.5 к 2100 году. Минимум температур 21.4 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Basel

Максимальные температуры января по трем сценариям в модели Micro5 достигаются на станции Geneve достигая 5.2 в сценарии RCP8.5 к 2100 году. Минимум температур -0.1 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Basel .

В модели MPI достигаются на станции Klagenfurt достигая 4.3 в сценарии RCP8.5 к 2100 году. Минимум температур -1.6 в сценарии RCP2.6 к 2040 на станции Hohenpeissenb

Таким образом данные результаты исследования и дальнейший анализ можно применить для адаптации антропогенной деятельности в связи с возможным изменением климатических характеристик горных регионов на примере Альп. Необходимо внедрить специализированные научные проекты, разработать меры устойчивого туризма, реализацию программ охраны окружающей среды, переход к более устойчивой энергетике. Усилия по адаптации к изменениям климата в Альпийском регионе требуют комплексного и координированного подхода.

Литература

1. В. А. Лобанов, И. А. Смирнов, А. Е. Шадурский. Практикум по климатологии, часть 1. (учебное пособие). Санкт-Петербург, 2011. – 145 с.
2. В. А. Лобанов, И. А. Смирнов, А. Е. Шадурский. Практикум по климатологии, часть 2. (учебное пособие). Санкт-Петербург, 2012. – 180 с.
3. Методические указания по выполнению лабораторной работы «Сценарные оценки будущего климата на основе моделей общей циркуляции атмосферы и океана проекта СМIP5». Направление подготовки: 280200 – Прикладная гидрометеорология. Профиль подготовки: магистр. — СПб.: РГГМУ, 2014. - 47
4. В.А.Лобанов Многомерный статистический анализ для исследования динамики климата. Учебное пособие / В.А. Лобанов. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2022. – 284 с.
5. Rubel, F., K. Brugger, K. Haslinger, and I. Auer, 2017: The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800-2100. Meteorol. Z., 26, 115-125
6. MOUNTAIN CLIMATES By R. Gomme Agrometeorology Group Environment and Natural Resources Service Research, Extension and Training Division Sustainable Development Department
7. ALPINE PARKS 2030 Biodiversity conservation for generations to come FINAL REPORT • 2023
8. <https://sparklogic.ru/pic3/2023/11/konturnaya-karta->
9. <https://www.alpconv.org/en/home/topics/climate->
10. [change/https://aims2.llnl.gov/search](https://aims2.llnl.gov/search)
11. <https://www.colletts.co.uk/journal/the-alps-history-and-climate/>
12. <https://phys.org/news/2023-11-climate-likelihood-extreme-snowfall-french.html>
13. <https://creamontblanc.org/en/climate-change-and-its-impacts-alps/>
14. <https://www.worldatlas.com/mountains/alps-mountain-range.html>
15. https://glossary.ametsoc.org/wiki/Mountain_climate
16. https://whiteface.asrc.albany.edu/scires_mwx.html

17. [https://www.fao.org/mountain-partnership/our-work/focusareas/climatechange/it/?page=3&ipp=6&tx_dynalist_pi1\[par\]=YT0xOntzOjE6IkwiO3M6MT0iOCI7fQ](https://www.fao.org/mountain-partnership/our-work/focusareas/climatechange/it/?page=3&ipp=6&tx_dynalist_pi1[par]=YT0xOntzOjE6IkwiO3M6MT0iOCI7fQ)
18. <https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/climate-model-temperature-change-rcp-26-2006-2100/>
19. van Vuuren, D.P., Stehfest, E., den Elzen, M.G.J. et al. RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climatic Change* 109, 95 (2011).

Приложение 1

год	B1j	B0j	Sεj
1887	1.04924	-1.44707	1.844936
1888	0.98880	-1.125679	1.522678
1889	1.10875	-0.7570572	1.840707
1890	0.98093	-1.528989	1.659685
1891	1.08349	-0.5263643	1.369157
1892	1.07893	-0.1774182	1.169661
1893	1.05428	-0.6265783	1.560475
1894	0.94541	-0.8402362	1.368614
1895	1.23358	0.381156	2.093494
1896	0.86476	-1.684367	1.655179
1897	0.90771	-0.7723303	1.256656
1898	0.86249	-0.4640007	1.793437
1899	0.85232	-1.163793	1.313633
1900	0.99016	-0.2179008	1.849094
1901	1.13006	-0.4853034	1.053218
1902	0.85580	-1.427217	1.802265
1903	0.89792	-1.061562	1.679586
1904	0.96985	-0.3339372	1.341684
1905	1.11892	-0.2406015	2.293404
1906	1.08395	-0.1904063	1.767266
1907	1.15537	-0.107358	1.489394
1908	1.06385	-0.9135919	1.608098
1909	1.11421	-1.217515	1.458239
1910	0.89789	-1.803406	1.439316
1911	1.05286	0.1069803	0.871837
1912	0.73420	-2.696951	2.39361
1913	0.80190	-1.910166	1.582188
1914	0.75240	-1.942979	1.709089
1915	0.99070	-1.431498	2.093032
1916	0.77932	-1.714162	0.912642
1917	1.19483	0.1097755	1.662915
1918	0.79876	-1.544789	1.546235
1919	0.95105	-2.041387	1.949281
1920	0.75982	-0.3172741	0.977266
1921	1.00331	0.3988643	1.593657
1922	1.00318	-0.8352003	1.568613
1923	1.03241	-0.4015331	1.655473
1924	0.99125	-0.4033408	1.626115
1925	0.89100	-1.267774	1.856704
1926	0.86091	-0.8230333	1.767496
1927	0.99193	-1.61E-02	0.468138
1928	1.02518	9.88E-02	1.568756
1929	1.18839	0.6062779	1.203809
1930	0.89159	-0.256074	1.323142
1931	1.05211	-0.5973063	1.986963

1932	1.04699	0.5567336	2.534312
1933	1.00240	-1.156346	1.099619
1934	0.88387	-0.1418343	1.076357
1935	1.17582	0.1844969	1.297587
1936	0.85328	-0.874939	1.591291
1937	1.00360	-0.2994971	1.357058
1938	1.03373	-1.90E-02	2.222648
1939	0.94271	-0.689024	2.144062
1940	1.01188	-1.185498	1.590115
1941	0.98477	-1.373735	1.037506
1942	1.13565	0.4882917	2.295969
1943	0.98783	0.3021002	1.558446
1944	1.16393	-4.18E-02	1.949519
1945	1.08445	0.437429	2.083163
1946	1.07081	0.659514	1.718288
1947	1.15535	1.350831	1.65646
1948	0.81378	-0.3006554	1.230325
1949	0.93539	-5.86E-03	2.107536
1950	1.06452	0.923594	1.36077
1951	0.98204	0.2940025	1.199897
1952	1.14147	5.49E-02	1.971238
1953	1.01056	0.5736265	1.507296
1954	1.03134	-0.4576583	1.60632
1955	0.89944	-1.286237	1.314979
1956	1.19947	-0.1720552	2.315095
1957	0.84896	-0.4329882	1.426123
1958	1.06440	0.6312118	2.01949
1959	0.90444	-0.2159901	1.558231
1960	0.89418	-1.174612	0.863523
1961	0.90702	0.2737422	1.727406
1962	1.10840	-0.6173739	1.670539
1963	1.20520	0.8523517	1.847522
1964	0.90508	-8.74E-02	0.905745
1965	1.10344	-0.6124077	1.951898
1966	1.02485	-0.1863871	2.332051
1967	1.08604	0.6131763	1.655846
1968	0.95940	-0.5770202	1.800953
1969	1.10395	0.3072176	1.979812
1970	1.08219	-0.2254605	1.795162
1971	1.05422	0.5814042	2.076056
1972	0.75544	-1.283965	1.258986
1973	1.14359	0.5753522	1.532133
1974	0.83397	-1.326962	2.414425
1975	0.92424	0.2471428	1.375575
1976	0.98488	-0.5980687	1.657587
1977	0.85397	-0.4376736	1.424906
1978	0.90485	-0.7636819	1.049057
1979	1.02627	6.34E-02	1.356675

1980	1.05726	-0.2429056	1.378914
1981	1.11861	0.1326017	2.010043
1982	1.09509	1.248237	1.371759
1983	1.09709	1.459642	1.615913
1984	1.04344	-0.3468442	1.70355
1985	1.15214	0.8825283	2.031422
1986	1.13182	1.233078	1.530334
1987	1.06456	0.5071354	2.426277
1988	1.08660	0.7914081	1.598349
1989	0.67240	-0.5583966	1.295139
1990	0.82166	-0.1556144	1.975857
1991	0.99067	0.1683297	2.135616
1992	0.99334	1.166938	1.546015
1993	0.95349	0.2809072	1.357423
1994	1.00216	1.300612	1.387405
1995	1.05598	0.4331083	2.189571
1996	0.95006	-0.4803457	1.946369
1997	0.86739	-9.44E-02	1.761926
1998	0.94882	0.4125562	2.090436
1999	1.07640	1.499814	1.331997
2000	0.97834	1.172884	1.316597
2001	1.03710	0.7086039	2.175475
2002	0.86191	0.6826701	1.30484
2003	1.18780	2.152943	2.078703
2004	1.01520	0.575129	1.362436
2005	1.17058	0.9628863	1.64861
2006	1.02537	1.399909	2.091426
2007	0.86880	0.538723	1.949094
2008	0.96696	0.9078436	1.462236
2009	1.16232	1.874008	1.500902
2010	1.13796	0.9681773	1.135003
2011	0.96970	1.873526	1.385241
2012	1.16169	2.362086	1.78889
2013	1.03666	1.32272	1.288538
2014	0.78506	0.5269582	1.065766
2015	1.01503	2.115839	2.15302
2016	0.94068	1.266034	1.277045
2017	1.04382	1.480321	2.066535
2018	1.10580	2.417749	1.693979
2019	1.10640	2.454493	2.004865
2020	0.84408	1.372472	1.349979
2021	1.03697	1.057824	1.911869
2022	1.03299	2.351776	1.338996

Приложение 2

Год	A1j	A0	SAE	R	m
1900	1.033	-0.186	1.065	0.988	14
1901	0.985	-0.1	0.549	0.996	15
1902	1.015	-0.469	0.669	0.995	15
1903	1.023	-1.792	0.551	0.996	15
1904	1.091	-0.271	1.16	0.986	15
1905	0.965	1.931	0.991	0.987	15
1906	0.976	0.299	0.645	0.995	15
1907	1.017	-2.207	1.057	0.987	15
1908	1.089	-2.39	0.513	0.997	15
1909	1.05	-2.979	1.117	0.986	15
1910	1.067	-3.342	0.811	0.993	15
1911	1.035	0.313	1.7	0.967	15
1912	0.95	-0.229	0.692	0.993	15
1913	1.054	-3.818	1.286	0.982	15
1914	1.09	-3.73	0.55	0.997	15
1915	1.071	-2.357	1.01	0.989	15
1916	1.008	-1.644	0.515	0.997	15
1917	0.99	-0.787	0.951	0.989	15
1918	1.007	-1.07	0.701	0.994	15
1919	1.042	-3.691	1.021	0.988	15
1920	1.085	-2.102	0.775	0.994	15
1921	0.982	1.391	1.358	0.977	15
1922	0.99	-1.098	0.925	0.989	15
1923	1.006	0.87	1.413	0.976	15
1924	0.983	-0.17	0.661	0.994	15
1925	1.031	-1.249	0.829	0.992	15
1926	1.06	-1.985	0.65	0.995	15
1927	1.054	-1.229	0.621	0.996	15
1928	1.042	1.498	1.416	0.977	15
1929	0.931	1.749	0.606	0.995	15
1930	1.002	-1.161	1.172	0.983	15
1931	1.028	-1.26	0.699	0.994	15
1932	0.986	-0.608	1.309	0.978	15
1933	0.989	0.433	0.524	0.996	15
1934	0.963	0.885	0.965	0.988	15
1935	1.017	0.004	0.764	0.993	15
1936	0.991	-0.76	0.751	0.993	15
1937	1.005	-0.129	0.321	0.999	15
1938	1.027	-1.004	0.727	0.994	15
1939	1.002	-0.89	0.88	0.99	15
1940	1.008	-1.538	0.551	0.996	15
1941	1.015	-0.242	1.044	0.987	15
1942	0.989	-0.337	0.627	0.995	15
1943	1.003	-0.3	0.443	0.998	15
1944	0.991	-0.273	0.819	0.991	15
1945	1.039	0.332	0.796	0.993	15

1946	0.97	1.207	0.57	0.996	15
1947	0.984	1.661	0.726	0.993	15
1948	0.989	-1.738	1.399	0.976	15
1949	1.107	-1.03	0.901	0.992	15
1950	1.019	1.319	1.585	0.971	15
1951	0.954	1.001	0.656	0.994	15
1952	1.006	1.837	1.49	0.973	15
1953	0.926	1.408	0.553	0.996	15
1954	1.058	-2.677	1.698	0.969	15
1955	1.068	-1.788	0.548	0.997	15
1956	1.013	-0.802	0.877	0.991	15
1957	1.01	-0.583	0.413	0.998	15
1958	0.966	0.3	0.741	0.993	15
1959	0.999	1.013	0.651	0.995	15
1960	0.982	-1.497	1.174	0.982	15
1961	1.059	-2.337	0.563	0.996	15
1962	1.048	-2.01	0.602	0.996	15
1963	1.041	-0.376	0.669	0.995	15
1964	0.981	0.991	1.056	0.986	15
1965	0.991	-1.35	0.736	0.993	15
1966	1.024	-2.207	0.993	0.988	15
1967	1.026	0.395	0.954	0.989	15
1968	0.963	-0.286	0.863	0.99	15
1969	0.993	0.019	0.844	0.991	15
1970	0.968	-0.446	0.626	0.995	15
1971	1.051	-0.025	0.521	0.997	15
1972	0.984	-0.476	0.471	0.997	15
1973	1.04	-1.484	0.641	0.995	15
1974	1.045	-1.652	0.621	0.996	15
1975	1.029	-0.842	0.427	0.998	15
1976	1.026	0.04	0.773	0.993	15
1977	0.962	-0.167	0.547	0.996	15
1978	1.02	-1.564	0.968	0.989	15
1979	1.044	-1.726	0.612	0.996	15
1980	1.007	-2.288	0.78	0.992	15
1981	1.001	-1.499	0.509	0.997	15
1982	0.973	1.118	1.147	0.983	15
1983	0.903	4.267	1.64	0.961	15
1984	0.914	1.48	1.327	0.974	15
1985	0.994	1.082	0.827	0.991	15
1986	0.971	0.402	0.93	0.989	15
1987	1.018	0.096	0.713	0.994	15
1988	0.928	1.389	0.637	0.994	15
1989	0.979	0.872	0.692	0.994	15
1990	0.982	0.475	0.54	0.996	15
1991	1.006	1.278	0.645	0.995	15
1992	0.945	1.658	0.542	0.996	15
1993	0.955	0.089	1.214	0.98	15

1994	1.018	1.97	1.257	0.981	15
1995	0.908	3.63	0.865	0.989	15
1996	0.924	0.964	1.276	0.977	15
1997	1.024	-1.309	0.871	0.991	15
1998	1.073	-0.645	1	0.989	15
1999	0.989	0.908	0.891	0.99	15
2000	1.037	-2.004	1.47	0.975	15
2001	1.017	0.044	0.797	0.992	15
2002	0.954	0.934	0.658	0.994	15
2003	1.007	1.606	0.721	0.994	15
2004	0.933	1.239	0.485	0.997	15
2005	1.058	-0.135	0.764	0.993	15
2006	0.983	3.511	1.441	0.974	15
2007	0.923	1.978	1.085	0.983	15
2008	0.989	0.729	1.106	0.985	14
2009	1.007	0.663	0.471	0.997	14
2010	0.989	2.578	0.594	0.996	14
2011	0.94	0.371	1.487	0.97	14
2012	1.025	0.252	0.696	0.994	14
2013	0.927	3.123	1.221	0.979	14
2014	0.945	1.14	1.263	0.979	14
2015	1.002	3.377	1.376	0.977	14
2016	0.901	3.03	0.797	0.99	14
2017	1.017	1.505	0.986	0.989	14
2018	0.978	2.412	0.886	0.99	14
2019	1.029	2.088	0.682	0.995	14
2020	0.956	2.637	0.872	0.99	14
2021	0.963	1.481	0.855	0.99	14
2022	0.978	3.315	0.85	0.991	14