



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: «Оценка климатических изменений температуры воздуха  
Альпийского региона»

Исполнитель Двалишвили Мариам Паатовна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_  
Лобанов Владимир Алексеевич

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

Сероухова Ольга Станиславовна

« 14 » 06 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Физико-географическое описание района исследования .....	4
1.1 Географические особенности территории .....	4
1.2 Климат района исследований.....	6
1.3 Альпы, как отражение климатических преобразований в Европе. ....	8
1.4 Альпийская Европейская программа .....	9
1.5 Пункты наблюдений и информация.....	10
1.6 Методика исследований .....	12
Глава 2. Оценка качества данных и пространственные закономерности в стационарных условиях .....	13
2.1. Оценка однородности и стационарности эмпирических распределений.....	13
2.2. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду.....	20
2.3. Пространственные климатические закономерности температур воздуха.....	25
Глава 3. Оценка проявлений современных климатических изменений зимой (январь).....	28
3.1. Теоретические положения.....	28
3.2. Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений.....	31
3.3. Алгоритм по оценке устойчивости показателей нестационарности.....	33
3.4 Пространственные обобщения показателей нестационарности.....	34
3. 5 Количественная оценка современного потепления Альпийского региона 1950-2021 годов .....	39
Глава 4 Оценка проявлений современных климатических изменений летом (июль).....	44
4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений.....	44
4.2. Пространственные обобщения показателей нестационарности.....	46
4. 3 Количественная оценка современного потепления Альпийского региона 1950-2021 годов .....	51
Заключение. ....	56

## Введение.

Альпы – это главная горная система Европы. Они являются одним из важнейших климатообразующих факторов и точкой биоразнообразия. В альпийском регионе обнаружено 30 000 видов диких животных и столько же видов растений. Хотя площадь составляет всего около 11% поверхности Европы, Альпы обеспечивают существенную часть питьевой водой, орошением и энергией не менее чем с 550 гидроэлектростанций. Это связано с тем, что Альпы являются истоком многих рек. Альпы также важный транспортный узел, обслуживающий 4200 км дорог. Образующим фактором экономики местных субъектов является туризм. Так более чем 120 миллионов посетителей в год посещают регион для спортивных, рекреационных или культурологических целей.

Актуальность данной бакалаврской работы заключается в оценке изменений климата, а конкретно фактора температуры. Эти знания можно будет применить для прогноза климата в будущем, для более детального изучения погоды настоящего и для адаптации антропогенной деятельности. Цель исследования проявление изменений климата на 15 метеостанциях Альпийского региона и пространственные модели полученных данных.

## Глава 1. Физико-географическое описание района исследования

### 1.1 Географические особенности территории

Горная система расположена между Евросибирским и Средиземноморским регионами, разделена на три основных сектора: западный, находящийся под влиянием мягких и влажных атлантических воздушных потоков, центральный и восточный средиземноморский. Они охватывают территорию протяженностью около 1200 км, и принадлежат восьми различным странам, с общим населением 14 млн. человек

Западная часть простирается от Приморских Альп к северу от побережья Генуэзского залива до Большого Сен-Бернарского перевала и включает Лигурийские, Коттийские и Грайанские Альпы до массива Монблан и Валле-д'Аоста. Здесь, на границе Франции, Италии и Швейцарии, Альпы более узкие, высокие и изрезанные, чем в других местах.

Хребты центральных Альп, проходящие с запада на восток между перевалами Большой Сен-Бернар и Бреннер, включают Пеннинские, Лепонтинские, Раетские и Цеттальские Альпы на юге, Бернские и Гларусские Альпы на севере. Особенностью восточной части центральных Альп является протяженная система долин, простирающаяся от Боденского озера до Чура в верховьях Рейна, через перевал Сплюген в Раетских Альпах и вниз по Валь-Сан-Джакомо до озера Комо в Северной Италии.

Восточные Альпы возвышаются к востоку от Боденского озера и находятся в основном в Австрии, но они также включают Баварские Альпы вдоль германо-австрийской границы, Карнийские Альпы, разделяющие Австрию и Италию, Караванкенские Альпы, граничащие со Словенией (где они известны как Динарские Альпы), и Доломиты на северо-западе Италии. Австрийские Альпы включают Альгауэрские Альпы, а также хребты Хоэ Тауэрн и Нидере Тауэрн на севере.

В целом более низкие и широкие, чем Швейцарские Альпы, и занимающие территорию шириной 240 км Австрийские Альпы заканчиваются в мягко покатых предгорьях и буковых лесах Винервальда, к западу от Вены.



Рис.1.1 Физическая карта Альп

## 1.2 Климат района исследований

Из-за своего центрального положения в Европе Альпы подвержены четырем климатическим влияниям: с запада поступает относительно мягкий, влажный воздух Атлантики; с севера Европы опускается холодный или холодный полярный воздух; на востоке преобладают континентальные воздушные массы, холодные и сухие зимой и жаркие летом; а с юга на север поступает теплый средиземноморский воздух. Перепады температур и годовое количество осадков связаны с физиографией. Они преграда на пути влажных западных воздушных течений и крупный конденсатор влаги.

Дно долин явно выделяется, поскольку в целом оно теплее и суше, чем окружающие высоты. Большое количество осадков получают северные и западные хребты окраин, от 1500 до 3000 мм в год. Чаще всего туманы и облачная погода. Внутренние хребты, замкнутые долины, котловины получают меньше влаги (менее 1000 мм). Больше всего осадков выпадает до высоты 1500-2000 м, где находится зона максимальной облачности. Зимой почти все осадки на высоте более 5 000 футов выпадают в виде снега, причем глубина снежного покрова обычно составляет от 10 до 33 футов и более. Снежный покров держится примерно с середины ноября до конца мая на уровне 6 600 футов, перекрывая высокие горные перевалы; тем не менее, бывают и относительно бесснежные зимы.

Среднегодовые значения температуры воздуха уменьшаются на  $0,55^{\circ}\text{C}$  с каждыми 100 метрами увеличения высоты над уровнем моря. С другой стороны, солнечная радиация значительно сильнее на больших высотах. Вследствие изменений с увеличением высоты над уровнем моря, Альпы разделены на высотные пояса. Широколистные деревья характеризуют низкогорный пояс.

Монтажный пояс состоит в основном из смешанных хвойных насаждений деревьев. Выше находится субальпийский пояс, для него характерны открытые лесные насаждения.

Альпийский пояс начинается выше линии деревьев и состоит из карликовых кустарников и лугов. Субнивальный пояс доходит до климатической снеговой линии. В самом верхнем нивальном поясе цветущие растения встречаются только на местных теплых скальных нишах.

Здесь важны местные ветры, из них большое значение имеют фены, возникающие в переходные сезоны из-за разности давлений у северного и южного склонов. На северных склонах фены это – сухие, теплые нисходящие ветры, приносящие теплую ясную погоду, ускоряют таяние снега. Последствия фенов иногда катастрофичны, так как таяние снегов вызывает наводнения, обвалы и разрушение дорог.

### 1.3 Альпы, как отражение климатических преобразований в Европе.

Изменение климата приведет к увеличению числа опасных природных явлений, представляющих явную угрозу для поселений, инфраструктуры, средств к существованию и жизни людей в горных регионах, а также в предгорьях Альп. Особый интерес представляют взаимосвязи в рамках природных, экономических и общественных систем. Из-за этой неопределенности необходимо срочно укрепить адаптационный потенциал Альпийского региона. Необходимо разработать решения для преодоления последствий изменения климата, создания климатических служб и повышения устойчивости.

Глобальное потепление, наблюдаемое в течение последнего столетия уже привело к тому, что все альпийские отступление ледников и привело к миграции альпийских растений вверх со скоростью 0,5 - 4 м в десятилетие.

В долгосрочной перспективе низменные растения будут вытеснять альпийские виды на все более высокие высоты, пока им не будет пока им вообще не будет некуда идти.

Это будет особенно актуально для менее высокогорных внешних ареалов. Многие из эндемичных растений, которые все еще обогащают альпийский регион, вымрут.

Другие прогнозируемые последствия изменения климата это распространение экзотических видов из парков и садов, как это уже можно наблюдать в южных Альпах, где вечнозеленые деревья вторгаются в естественные леса.

Глобальное потепление, скорее всего, приведет не только повышению температуры, но также изменению в режиме дождей и снегопадов (с последствиями для водного баланса) и увеличению частоты экстремальных погодных явлений, таких как наводнения и лавины. Более высокие температуры будут также привести к деградации слоев вечной мерзлоты, вызывая неустойчивость склонов с такими явлениями, как камнепады и оползни.



#### 1.4 Альпийская Европейская программа

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 на основе биоразнообразия.

Первый семинар был проведен в мае 2002 года в Гапе, Франция и второй - в сентябре 2002 года в Альпбахе, Австрия. Результаты этого процесса, которые опубликованы в этой брошюре, способствуют лучшему пониманию биоразнообразия в Альпах и служат ориентиром для определения областей, в которых следует предпринять приоритетные действия по сохранению природы следует предпринять.

Инициатива четырех наших организаций в области биоразнообразия вносит важный вклад в Альпийскую конвенцию, договор между альпийскими государствами и Европейским Союзом, который обязывает членов проводить политику устойчивого развития в этой транснациональной горной области.

Этот международный общественно-правовой договор делает Альпийский регион моделью для других регионов в Европе и во всем мире.

Таким образом, она показывает, где мы должны действовать в первую очередь, дополняя Альпийскую конвенцию и ее протоколы, которые определяют, какие меры должны применяться и каким образом. Альпийская сеть охраняемых территорий является одним из важных результатов Альпийской Конвенции. Она является важным инструментом для сохранения биоразнообразия. Необходимо сделать акцент на эффективных и устойчивых методах управления за пределами охраняемых территорий, особенно в регионах с высокой ценностью биоразнообразия. Альпийская конвенция и особенно ее протоколы "Охрана природы и сохранение ландшафта" и "региональное планирование и устойчивое развитие" предоставляют инструменты для достижения этой цели в среднесрочной перспектив

## 1.5 Пункты наблюдений и информация

В анализе пространственных климатических изменений температуры воздуха в Альпийском регионе было избрано 15 станций (Таблица 1). Геоинформационный слой пунктов, сформирован в ГИС MapInfo. Наглядное расположение на карте метеостанций (Рис.2).

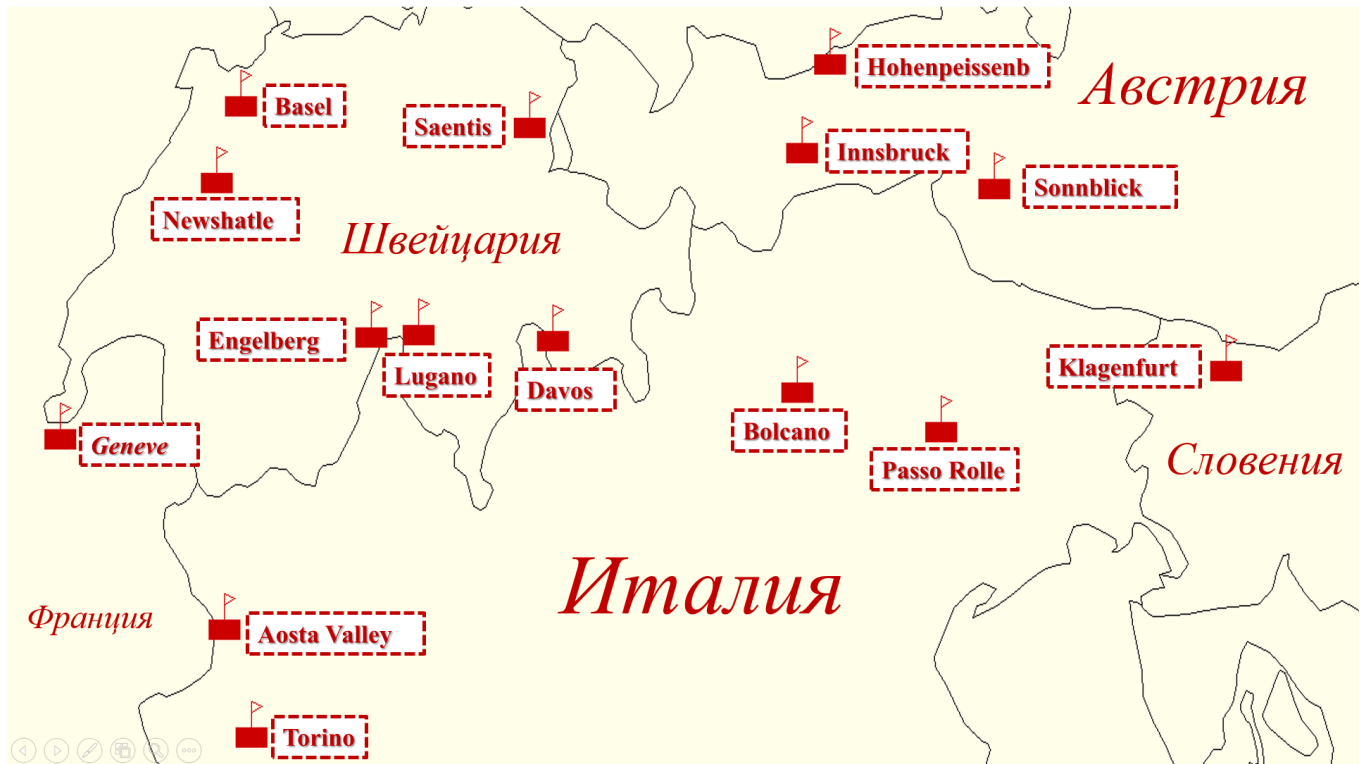


Рис.1.5.1. Расположение метеостанций

Код поста	Название	Продолжительность	Кол-во лет	Шир, град	Дол, град	Высота, м
06601	Basel	1755 - 2021	267	47,33	7,34	261
06604	Newshatle	1864 - 2021	158	47,05	7,17	479
06655	Engelberg	1864 - 2021	158	46,49	8,24	1 013
06680	Saentis	1864 - 2021	158	47,25	9,34	2502
06700	Geneve	1753 – 2021	269	46,12	6,08	375
06784	Davos	1867 – 2021	155	46,48	9,50	1560
10962	Hohenpeissenb	1781 - 2021	241	47,48	11,43	780
11231	Klagenfurt	1813 - 2021	209	46,37	14,18	446
11320	Innsbruck	1777 - 2021	245	47,16	11,23	574
11343	Sonnblick	1886 - 2019	134	47,03	12,57	3106
16020	Bolcano	1850 - 2018	169	46,29	11,2	262
16021	PassoRolle	1895 - 2021	127	46,15	12,2	1989
16054	Aosta valley	1841 - 2020	180	45,43	7,22	215
16059	Torino	1753 - 2021	269	45,04	7,41	239
67701	Lugano	1864 - 2021	158	46,01	8,57	273

Таблица 1.5.1 Продолжительность и период наблюдений за среднемесячной температурой воздуха на 15 станциях на территории Альп.

Многолетние ряды были внесены в ПК «Гидрорасчеты», сформировав региональную БД климатических характеристик.

При изучении информации, представленных в табл.1, обнаружим, что продолжительность изменяется от 134 лет на метеостанции Sonnblick (Швейцария) до 269 лет в Женеве ( Швейцария) и Турине (Италия) и в среднем составляя 193 года.

## 1.6 Методика исследований

Анализ начинается со сбора и переработки данных о среднемесячной температуре воздуха. Потом прописываются сведения многолетних рядов за 12 месяцев на 15 избранных станциях. Реализуется характеристика свойств сведений, их однородность и приведение рядов к многолетнему периоду приблизительно одинаковой длительности.

Затем идёт расчёт показателей стационарной и нестационарных моделей для многолетнего ряда. Выводим тезис о превосходстве той или другой модификации. Обобщим визуализацию вычисленных коэффициентов нестационарных моделей

Применим статистику и математические способы моделирования :

- 1) Статистический параметр Диксона для характеристики однородности эмпирических распределений и перепроверки на неоднородные экстремумы ;
- 2) Статистические параметры Фишера и Стьюдента для характеристики стационарности дисперсий /средних значений временных рядков;
- 3) Методология восстановления пропусков и приведения рядков к многолетнему периоду;
- 4) Модификация стационарного среднего и нестационарные модели линейного тренда и ступенчатых видоизменений;
- 5) Способы пространственной интерполяции для температуры

## Глава 2. Оценка качества данных и пространственные закономерности в стационарных условиях

### 2.1. Оценка однородности и стационарности эмпирических распределений

Первым этапом исследования является оценка однородности эмпирического распределения метеорологических характеристик.

Это может быть нарушено из-за резкого отклонения от эмпирического распределения максимальных и минимальных значений. Оценка однородности рядов наблюдений по метеорологическим характеристикам основана на анализе исходных данных наблюдений.

Генетический анализ основан на обнаружении физических причин, вызывающих неоднородность. Для статистической значимости однородности считают критерии Диксона и Смирнова-Граббса.

Существует три основные причины такой неоднородности:

- 1) Резко отклоняющиеся метеорологические величины имеют особые условия формирования, например, формируются тайфуны, ураганы;
- 2) Экстремальное событие имеет более редкую вероятность появления, чем вероятность, определяемая эмпирической формулой для короткой серии наблюдений, когда экстремум включен в общую последовательность наблюдений;
- 3) Резко отклоняющееся значение обусловлено значительной ошибкой измерения.

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

Особенностью критериев оценки однородности является то, что они разработаны для условий нормального симметричного закона распределения совокупности и отсутствия автокорреляции.

Кроме того, эмпирические распределения метеорологических характеристик могут обладать асимметрией, поэтому во временных рядах может иметь место статистически значимая автокорреляция между соседними членами ряда ( $r(1)$ ). Для ее учета мы расширяем таблицы статистических критериев, наиболее часто используемых в метеорологии (Диксона, Смирнова-Граббса, Стьюдента, Фишера).

Статистика критериев Диксона рассчитывается на основе эмпирических данных по следующим формулам:

а) Для максимального члена, ранжированного в порядке возрастания выборки ( $Y_n$ ):

$$D_{1n} = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_1) \quad (2.1)$$

$$D_{2n} = (Y_n - Y_{n-1}) / (Y_n - Y_2) \quad (2.2)$$

$$D_{3n} = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_2) \quad (2.3)$$

$$D_{4n} = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_3) \quad (2.4)$$

$Y_i$  - значения анализируемого образца.

$$D_{5n} = (Y_n - Y_{n-2}) / (Y_n - Y_1) \quad (2.5)$$

б) Для минимального члена, ранжированного в порядке возрастания выборки ( $Y_1$ ):

$$D_{11} = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_n) \quad (2.6)$$

$$D_{21} = (Y_1 - Y_2) / (Y_1 - Y_{n-1}) \quad (2.7)$$

$$D_{31} = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-1}) \quad (2.8)$$

$$D_{41} = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_{n-2}) \quad (2.9)$$

$$D_{51} = (Y_1 - Y_3) / (Y_1 - Y_n) \quad (2.10)$$

где  $Y_1 < Y_2 < \dots < Y_n$ ;  $n$  - объем выборки.

Статистика критерия Смирнова-Граббса для максимального члена ранжированной последовательности ( $Y_n$ ) вычисляют:

$$G_n=(Y_n-Y_{cp})/\sigma_y \quad (2.11)$$

$$G_1=(Y_{cp}-Y_1)/\sigma_y \quad (2.12)$$

где  $Y_{cp}$ ,  $\sigma_y$  - среднее значение и среднее квадратическое отклонение, определяют по формулам:

$$Y_{cp}=\Sigma Y_i/n \quad (2.13)$$

$$\sigma_y^2=\Sigma(Y_i-Y_{cp})^2/(n-1) \quad (2.14)$$

где  $\sigma_y^2$  – дисперсия.

Оценка однородности по критериям определяется путем сравнения расчетного значения статистики критерия, полученного по эмпирическим данным, с критическим значением из таблиц. При этом задается уровень значимости ( $\alpha$ ) 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности с вероятностью 95%, и объем выборки ( $n$ ). В результате гипотеза об однородности может быть принята, если рассчитанное значение статистики меньше критического.

Стационарная оценка средних значений и дисперсий для двух последовательных частей ряда анализируется с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Анализ по этим критериям проводится после оценки отсутствия резко отклоняющихся экстремальных значений, которые существенно влияют на средние значения и дисперсию.

Для оценки стационарных вариаций и средних значений, соответственно, по критериям Фишера и Стьюдента, временной ряд разбивается на две или более частей одинаковой или разной длины, причем границы разбиения желательно связать с датами предполагаемого нарушения стационарности.

Для каждой подвыборки рассчитываются значения среднего ( $Y_{срj}$ ) и дисперсии ( $\sigma^2_j$ ), которые используются для получения расчетных значений статистики Фишера:

$$F = \sigma^2_j / \sigma^2_{j+1} \quad (2.15)$$

при  $\sigma^2_j > \sigma^2_{j+1}$ , где  $\sigma^2_j, \sigma^2_{j+1}$  - соответственно дисперсии двух следующих друг за другом подвыборок ( $j$  и  $j+1$ ) объемом  $n_1$  и  $n_2$ .

Уровень значимости F-распределения для нормально распределенных независимых случайных величин:  $\alpha = 5\%$ .

Уровень значимости F-распределения для нормально распределенных независимых случайных величин:  $\alpha = 5\%$ .

Для того чтобы оценить стационарность двух средних значений последовательных подвыборок, значение статистики критерия Стьюдента рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{Y_{ср1} - Y_{ср2}}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (2.16)$$

где  $Y_{ср1}, Y_{ср2}, \sigma_1^2, \sigma_2^2$  - средние значения и дисперсии двух последовательных выборок;  $n_1, n_2$  - объемы выборок.

Оценка устойчивого состояния по критерию Стьюдента также проводится путем сравнения расчетного и критического значений статистики. Если расчетное значение меньше критического при заданном уровне значимости, то принимается гипотеза об однородности (стационарности).



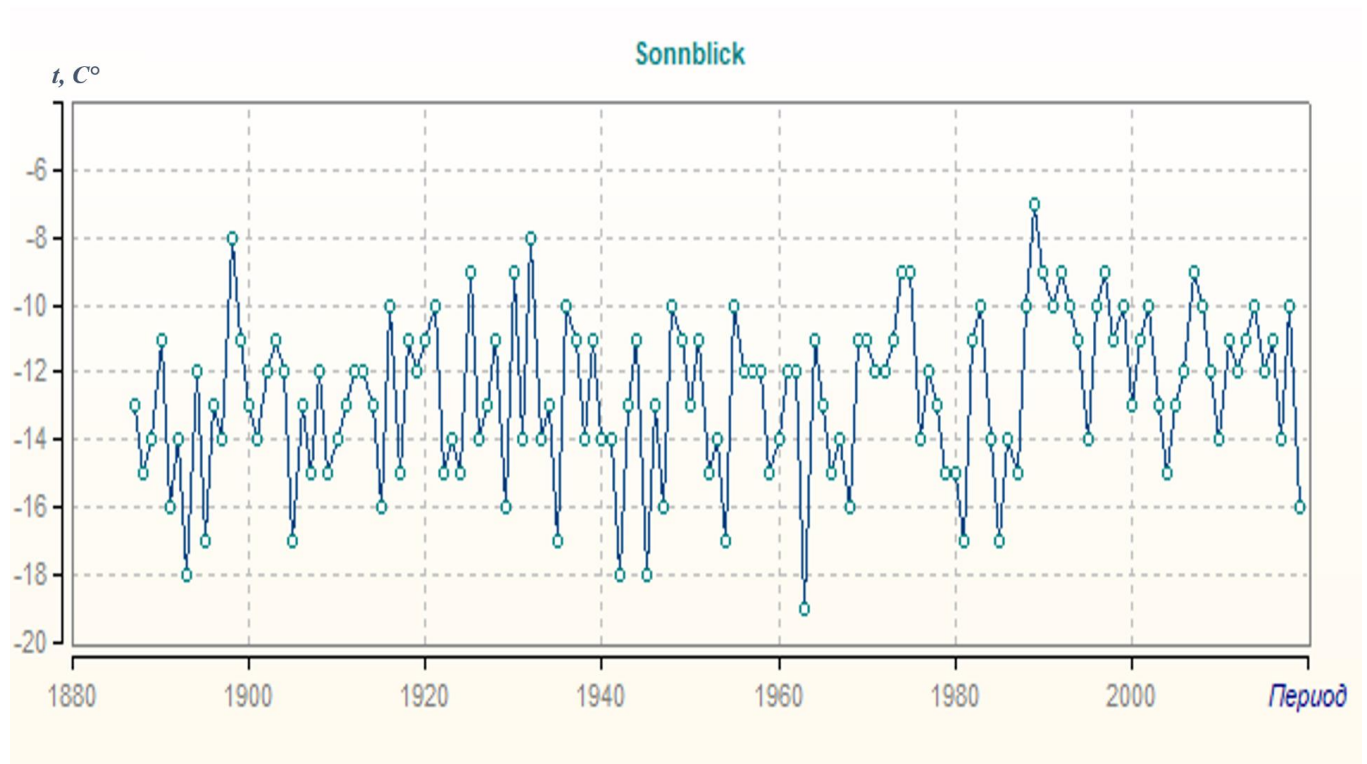
Вывод о принятии гипотезы однородности и стационарности для холодного сезона и для теплого сезона.

код	название	Январь			Июль		
		д	ф	с	д	ф	с
06601	Basel	+	+	-	+	-	+
06604	Newshatle	+	+	-	+	+	-
06655	Engelberg	+	+	-	+	+	-
06680	Saentis	+	+	-	+	+	-
06700	Geneve	+	-	-	+	+	+
06784	Davos	+	+	-	+	+	-
10962	Hohenpeissenb	+	+	-	+	+	-
11231	Klagenfurt	+	+	-	+	+	-
11320	Innsbruck	+	-	+	+	-	+
11343	Sonnblick	+	+	-	-	+	-
16020	Bolcano	+	+	-	+	+	-
16021	PassoRolle	+	+	+	+	+	-
16054	Aosta valley	+	+	-	+	-	-
16059	Torino	+	-	-	+	+	-
67701	Lugano	+	+	-	+	+	-

Таблица 2.1.1. Результаты оценки однородности и стационарности среднемесячных температур воздуха холодного и теплого сезонов по критериям Диксона (д), Фишера (ф) и Стьюдента (ст) на метеостанциях Альп.

В таблице 2.1.1. знак «+» указывает на принятие выводов гипотезы однородности и устойчивости, знак «-» указывает на отклонение. Если расчетное значение критерия статистики близко к критическому значению, но превышает его, то в таблице также отображается уровень значимости, соответствующий расчетному значению критерия. В этом случае вывод о принятии или отклонении гипотезы однородности и стационарности сомнителен и заключен в скобки. Если уровень значимости, соответствующий расчетному значению стандартной статистики, меньше 5%, но больше или равен 3%, необходимо поставить знак «+». Знак «-», если уровень значимости меньше 3%, но больше 1%. Знак «+» ставится, если уровень значимости, соответствующий расчетному значению стандартной статистики, равен или превышает 5%. Если она равна или меньше 1%, то ставиться знак «-», т. е. в этих случаях нулевая гипотеза или достаточно надежно принимается или надежно отклоняется.

Примеры нестационарных рядов показаны на рис. 2.1.1



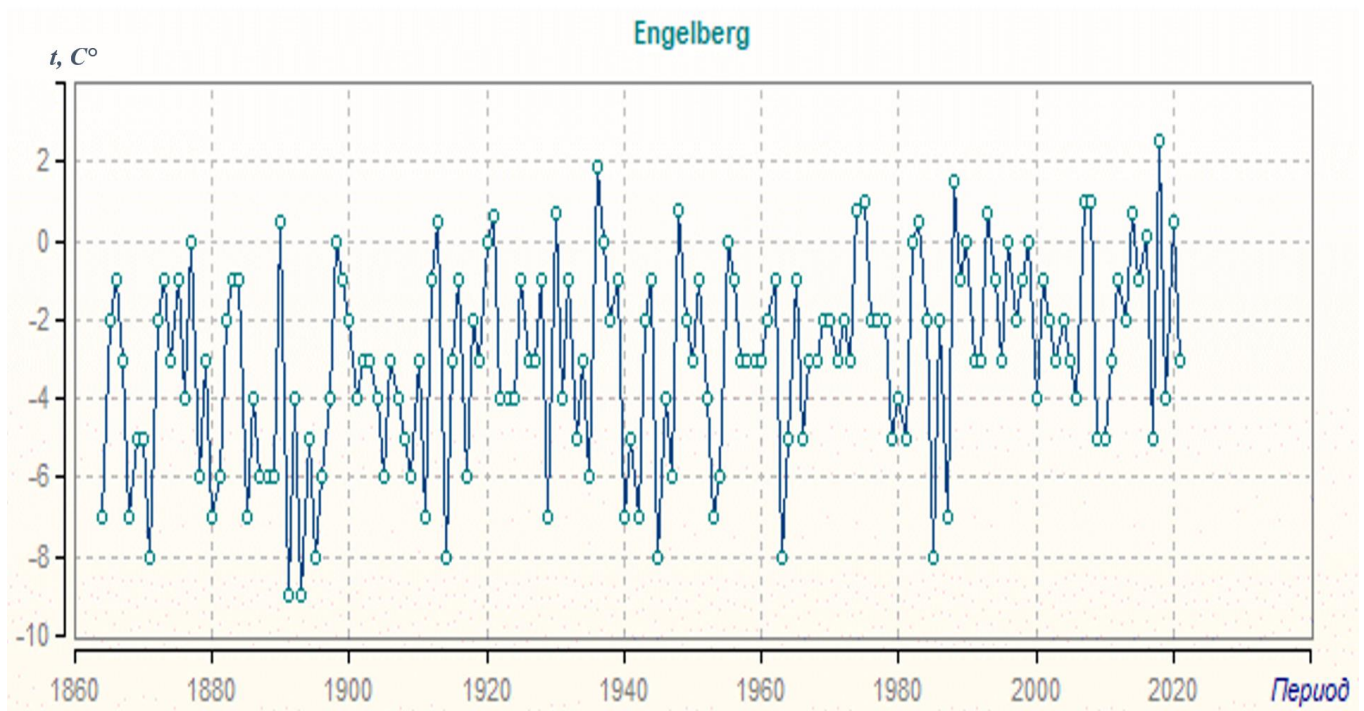


Рис. 2.1.1. Примеры нестационарных и неоднородных рядов наблюдений

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что данный регион исследования в основном содержит однородные данные наблюдений, а выявленная нестационарность будет исследована на основе статистических моделей временных рядов.

## 2.2. Восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду

Основанием для восстановления недостающих наблюдений и приведения ряда к многолетним является установление уравнения регрессии, содержащего три гипотетических аналога, как более длительных периодов наблюдений, так и лет наблюдений вплоть до многолетних циклов в порядке.

Все уравнения, удовлетворяющие условиям эффективности, располагаются в порядке убывания коэффициента корреляции, а затем по уравнению с наибольшим значением коэффициента корреляции восстанавливается постепенное восстановление типичных значений совместных метеорологических характеристик метеорологических характеристик в этой точке в одной и той же точке до тех пор, пока не будут использованы все уравнения регрессии, удовлетворяющие условиям эффективности.

Уравнение множественной линейной регрессии для восстановления имеет следующий вид:

$$Y = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \dots + k_j Y_j + \dots + k_l Y_l \quad (2.17)$$

где  $Y$  – значения метеорологической характеристики в приводимом пункте;  $Y_j$  – значения метеорологической характеристики в пунктах-аналогах;

$k_0$  – свободный член;  $k_j$  – коэффициенты уравнения регрессии при  $j = 1, 2, \dots, l$ ;  $l$  – число пунктов-аналогов

Для эффективного уравнения связи рассматриваемого пункта с аналогами использовались следующие условия:

$$n' \geq 6-10$$

$n'$  – число совместных лет наблюдений в проводимом пункте и пунктах аналогах равно 10, т.к. количество пунктов аналогов было выбрано 3 ( $n' \geq 6$  при одном пункте аналоге);

$$R \geq R_{кр}$$

$R$  – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями гидрометеорологической величины в приводимом пункте и их значениями в пунктах-аналогах;  $R_{кр}$  – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (было взято значение равное 0,85);

$$k/\sigma_k \geq V_{кр}$$

$k$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $\sigma_k$  – средняя квадратическая погрешность коэффициента уравнения регрессии  $V_{кр}$  – критическое значение отношения  $k/\sigma_k$ , задается  $\geq 2,0$ .

Результаты восстановления данных и приведения непродолжительных рядов температур воздуха к многолетнему периоду приведены в таблице 3 за холодный сезон (январь) и теплый сезон (июль).

Январь					
Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	к-т кор- ии	кол-во аналогов
06604	Newshatle	158	69	0.989	8
06655	Engelberg	158	20	0.974	7
06784	Davos	155	1	0.906	1
06680	Saentis	158	1	0.869	2
10962	Hohenpeissenb	241	5	0.879	3
16020	Bolcano	169	65	0.911	9
16054	Aosta valley	180	37	0.877	7
67701	Lugano	158	104	0.941	8

Таблица 2.2.1 Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов температур воздуха к многолетнему периоду.

Благодаря восстановлению пропусков и приведению рядов температур воздуха к многолетнему периоду среднее число лет наблюдений увеличилось.

Пример сравнения наблюдаемого и восстановленного рядов показан на рис. 2.2.1

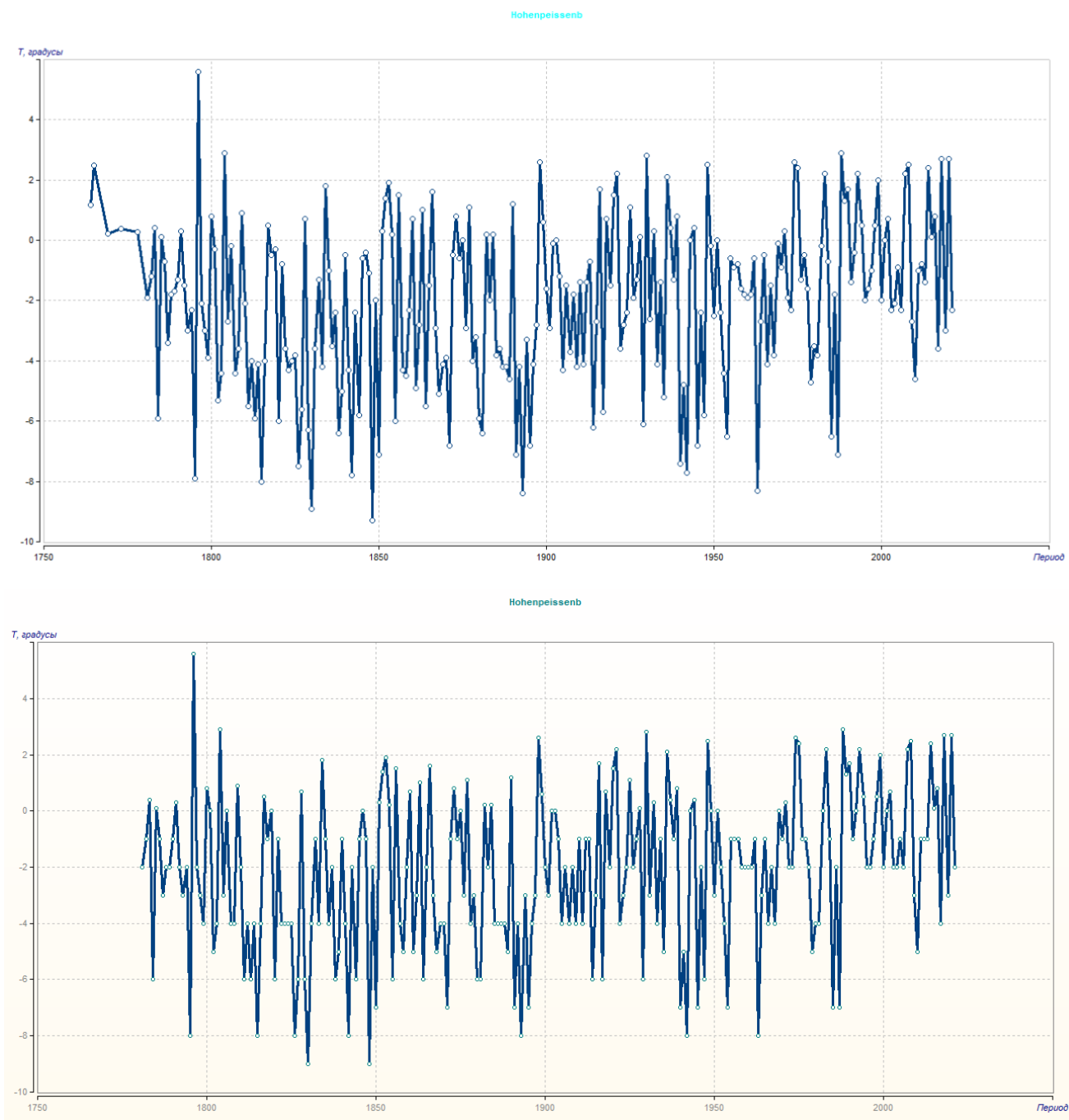


Рис.4. Графики данных наблюдаемых и восстановленных многолетних рядов температуры января.

Июль					
Код	Наименование	Кол-во факт.	Кол-во восст.	к-т корреляции	кол-во аналогов
06601	Basel	267	2	0.943	1
06604	Newshatle	158	111	0.947	1
06655	Engelberg	158	111	0.971	2
06680	Saentis	158	111	0.969	3
06784	Davos	155	114	0.979	3
10962	Hohenpeissenb	241	28	0.951	2
11231	Klagenfurt	209	60	0.886	33
11343	Sonnblick	134	130	0.965	8
16020	Bolcano	169	100	0.936	3
16021	PassoRolle	127	142	0.939	3
16054	Aosta valley	180	89	0.926	1
67701	Lugano	158	111	0.944	1

Таблица 2.2.2 Результаты восстановления пропусков и приведения непродолжительных рядов температур воздуха к многолетнему периоду.

Пример сравнения наблюдаемого и восстановленного рядов показан на рис.5

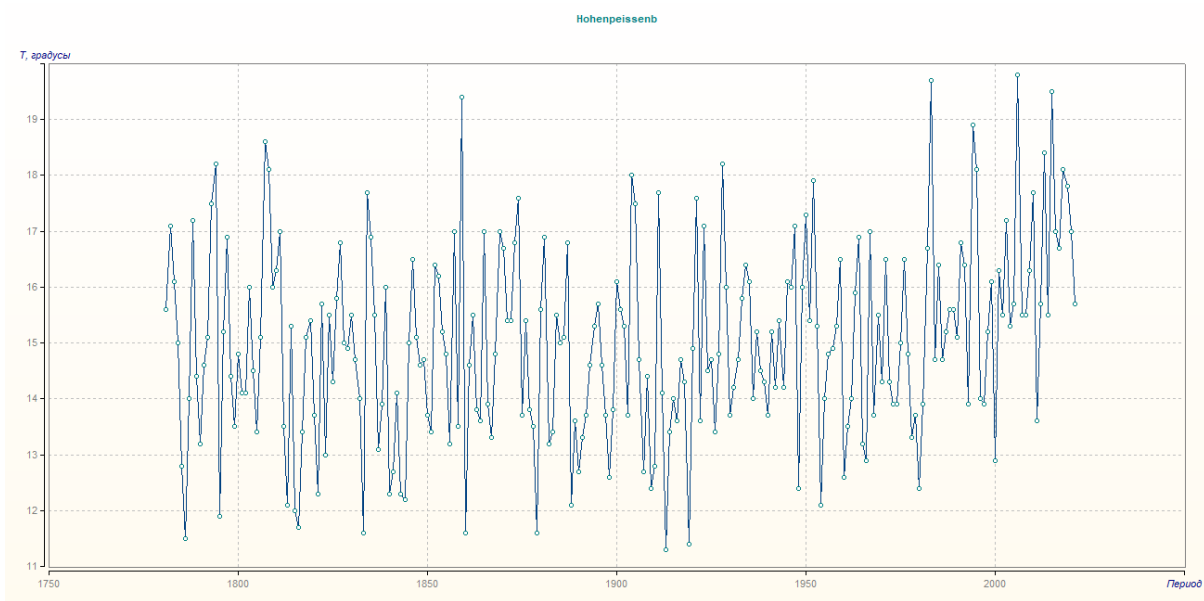


Рис. 2.2.2.. Графики данных наблюдаемых и восстановленных многолетних рядов температуры июля



### 2.3. Пространственные климатические закономерности температур воздуха

Результатом расчетов в стационарных условиях является пространственная интерполяционная модель средней температуры в холодное и теплое время года. Средняя температура, выбранных для исследования месяцев для каждой станции приведена в таблице 2.3.1

Код станции	Название	Широта	Долгота	Январь	Июль
16059	Torino	45,04	7,41	0.2	22.9
6784	Davos	46,48	9,50	-5.9	11.3
16054	Aosta valley	45,43	7,22	-1.1	20.6
11320	Innsbruck	47,16	11,23	-2.3	18.4
10962	Hohenpeissenb	47,48	11,43	-2.1	15.1
11231	Klagenfurt	46,37	14,18	-5.2	18.3
67701	Lugano	46,01	8,57	1.1	21.3
6601	Basel	47,33	7,34	-1.8	18.1
6700	Geneve	46,12	6,08	-0.7	19.1
6680	Saentis	47,25	9,34	-9.5	4.9
11343	Sonnblick	47,03	12,57	-14.1	1.9
6655	Engelberg	46,49	8,24	-5.1	14.3
6604	Newshatle	47,05	7,17	-1.6	18.8
16020	Bolcano	46,29	11,2	-0.3	22.3
16021	Passo Rolle	46,15	12,2	-7.4	10.4

Таблица 2.3.1. Среднемесячные температуры воздуха.

По данным о среднемесячной температуре построены пространственные распределения, представленные на рисунках 2.3.1-2:

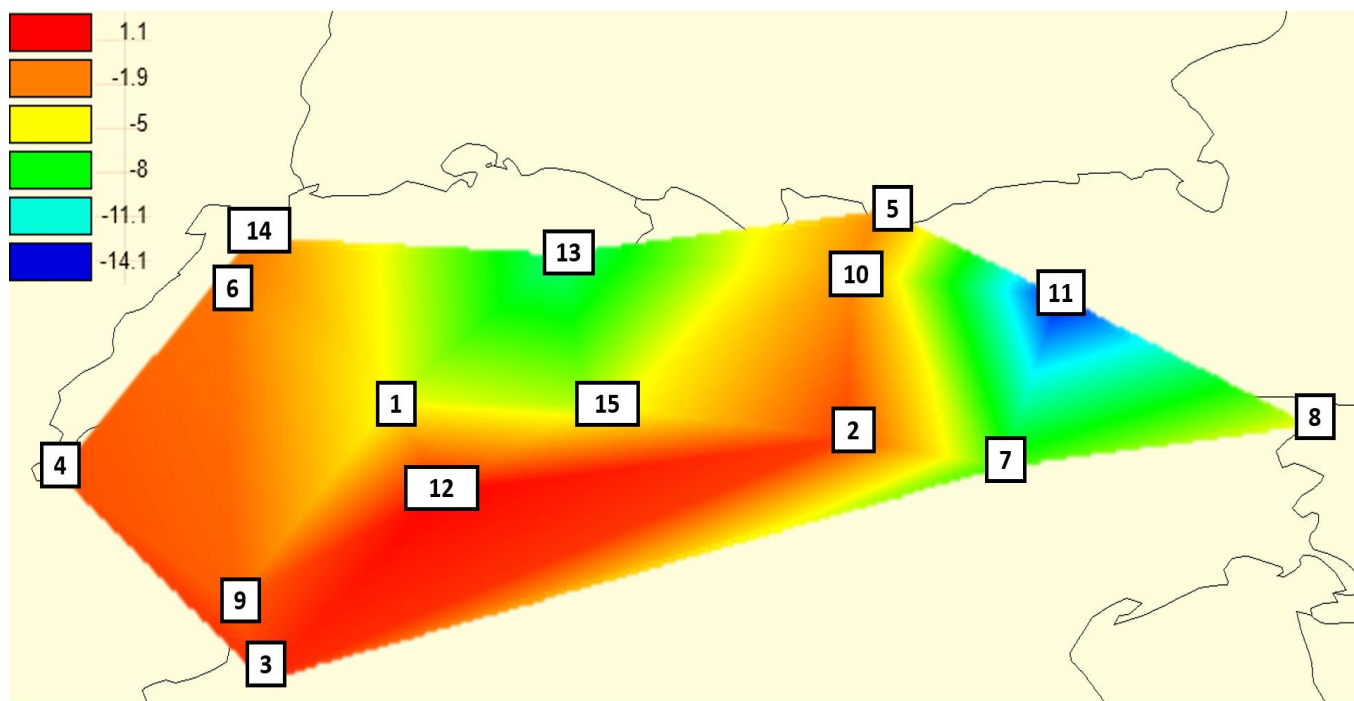


Рис 2.3.1. Пространственная модель средних многолетних температур января

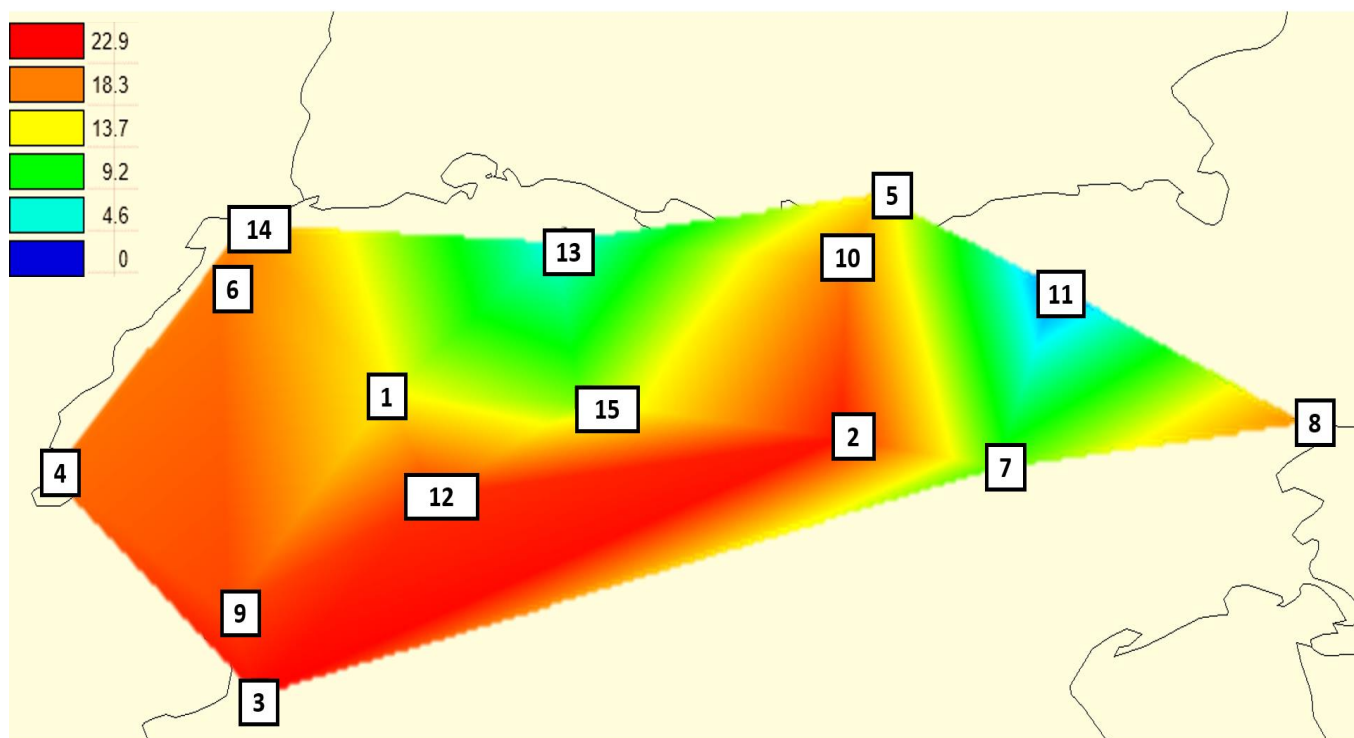


Рис2.3.2. Пространственная модель средних многолетних температур июля

1 - Engelberg 2 - Bolcano 3 - Torino 4 - Geneve 5 - Hohenpeissenb 6 - Newshatle  
7- Passo Rolle 8 - Klagenfurt 9 - Aosta Valley 10 - Innsbruck 11- Sonnblick 12 - Lugano  
13 - Saentis 14 - Basel 15 – Davos

Из рисунков следует, что самые холодные температуры (синий) наблюдаются в Sonnblick – самой высотной станции (3106 м). В июле средняя температура не превышает 0, а зимой в среднем составляет -14.1. Самые тёплые температуры (красный) в пункте Lugano (239 м) в январе, средняя температура 1.1 градус и в Torino в июле, составляя 22.9 градуса

Западные станции Basel, Newshatle, Geneve, находятся на высоте не более 480м и даже зимой температура не опускается ниже -2 (оранжевый).

Желтым обозначены станции на высоте до 1560м, а именно Engelberg (1013) и Davos (1560). Также отметим пункт Klagenfurt (446м), который расположен восточнее всех.

Высотные пункты Saentis (2502м) и Passo Rolle (1989) находятся в зеленом спектре зимой. Но в Saentis температура июля там не превышает 5 градусов Цельсия.

## Глава 3. Оценка проявлений современных климатических изменений зимой (январь)

### 3.1. Теоретические положения

На любом заданном временном интервале, структура временных рядов может быть представлена двумя основными типами моделей: стационарными и нестационарными. В стационарной модели основные параметры временного ряда, такие как среднее значение и дисперсия, либо постоянны, либо стационарны во времени. Для этого случая можно рассчитать среднее значение многолетнего периода наблюдений, которое является климатической нормой. Даже в условиях современного изменения климата считается, что колебания климатических характеристик квазистабильны для некоторых небольших отрезков временного ряда, например для 30 лет.

Однако помимо случайных отклонений во временных рядах климатических характеристик могут существовать и нестационарные компоненты с большими временными масштабами, обусловленными 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 преходящие изменения в природе носят циклический характер, а тенденция является частью достаточно большого цикла процесса, который проявляется как ветвь подъема или спада в пределах рассматриваемого ограниченного временного интервала.

Если предположить, что нестационарные составляющие являются реакцией климатической системы на внешние воздействия, то показатели этих воздействий могут быть двух основных типов: монотонные (тренд или циклические колебания) и ступенчатые изменения. Механизм монотонного изменения имеет место в равновесной системе, которая практически мгновенно реагирует на внешние эффекты направленности.

Модель линейного тренда характеризуется зависимостью рассматриваемой климатической характеристики (Y) от времени (t):

$$Y(t) = b_1 t + b_0 \quad (3.1)$$

где  $b_1$ ,  $b_0$  - коэффициенты уравнения регрессии методом наименьших квадратов:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2} \quad (3.2)$$

$$b_0 = Y_{cp} - b_1 t_{cp} \quad (3.3)$$

где  $Y_{cp}$ ,  $t_{cp}$  - средние значения климатической характеристики и временного ряда.

n - объем ряда.

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента  $b_1$  или коэффициента корреляции R, который рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{cp})^2 \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}} \quad (3.4)$$

Модель пошагового изменения похожа на две (или более) стационарные модели для двух (или более) частей временного ряда, которая характеризуется постоянным во времени средним значением и средним квадратическим отклонением для каждой части ряда:

$$Sr1(t1) = \text{const1}, \sigma1(t1) = \text{const1}, \quad (3.5)$$

$$Sr2(t2) = \text{const2}, \sigma2(t2) = \text{const2}, \quad (3.6)$$

где  $Sr1$ ,  $\sigma1$  - среднее и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении  $t1$ ;

$Sr2$ ,  $\sigma2$  - среднее и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении  $t2$ ;

Стандартное отклонение остатков ступенчатой модели для одного этапа и двух стационарных интервалов определяется по формуле:

$$\sigma_{ступ} = \sqrt{\frac{\sigma_1 * n_1 + \sigma_2 * n_2}{n_1 + n_2 - 1}} \quad (3.7)$$

где  $\sigma_{ступ}$  - стандартное отклонение остатков модели пошагового изменения;

$\sigma_1, \sigma_2$  - стандартные отклонения стационарных сегментов временного ряда;  $n_1, n_2$  - объемы стационарных сегментов

Для модели линейного тренда стандартное отклонение остатков рассчитывается по формуле:

$$\sigma_s = \sigma_y * \sqrt{1 - R^2} \quad (3.8)$$

где  $\sigma_y$  - стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего);  $\sigma_s$  - стандартное отклонение остатков относительно модели линейного тренда;

$R$  - коэффициент корреляции уравнения линейного тренда.

Для количественной оценки различий между моделью тренда и моделью пошагового изменения и моделью стационарного среднего относительные ошибки рассчитываются по формулам:

$$d_{st} = \Delta_{ст} = \frac{\sigma_y - \sigma_{ступ}}{\sigma_y} * 100\%$$

(3.9)

$$d_{tr} = \Delta_{тр} = \frac{\sigma_y - \sigma_s}{\sigma_y} * 100\% \quad (3.10)$$

где  $d_{tr}, d_{st}$  - относительные ошибки или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатого изменения от модели стационарной выборки;  $\sigma_y, \sigma_s, \sigma_{ступ}$  - стандартные отклонения остатков моделей случайной выборки, линейного тренда и пошаговых изменений, соответственно

### 3.2. Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений.

В методике из раздела 3.1, рассчитаны характеристики стационарных и нестационарных моделей для среднемесячной температуры в зимой на 15 метеостанциях. В таблице 3.2.1 приведены результаты расчетов для января.

В шапке обозначены:  $T_{ст}$ .- год перехода одной стационарной част;  $T_{нач}$  и  $T_{к}$  – годы начала и конца наблюдений  $n$  – количество лет наблюдений;  $R$  – коэффициент корреляции модели линейного тренда.

код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	$F_{тр}$	$F_{ст}$	$T_{ст}$	$T_{нач}$	$T_{к}$	$n$	$R_{тр}$
16059	1.9	4.7	1.04	1.1	1769	1753	2021	269	0.2
6784	4.8	8.3	1.1	1.19	1969	1796	2021	156	0.31
16054	0.3	3.8	1.01	1.08	1965	1756	2020	216	0.08
11320	1.4	3.4	1.03	1.07	1988	1764	2021	246	0.17
10962	1.7	4.1	1.04	1.09	1969	1791	2021	213	0.19
67701	7	9.9	1.16	1.23	1972	1754	2021	262	0.37
6601	7.1	7.1	1.16	1.16	1898	1755	2021	267	0.37
6700	9.4	8.6	1.22	1.2	1912	1753	2021	269	0.42
6680	1.4	5.1	1.03	1.11	1988	1796	2021	159	0.17
11343	2.8	5.8	1.06	1.13	1988	1887	2019	133	0.23
6655	0.2	8.8	1	1.2	1864	1765	2021	178	-0.07
6604	0.2	4.5	1	1.1	1988	1756	2021	227	0.06
16020	0.3	4.7	1.01	1.1	1972	1756	2021	234	0.07
16021	0.2	5.2	1	1.11	1988	1796	2021	128	0.07
11320	0.6	2.2	1.01	1.05	1969	1764	2021	247	0.11
Среднее	2.6	5.7	1.1	1.1	1947	1776	2021	214	0.2

Таблица 3.2.1 – Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур января.

Из результатов таблицы 6 следует, что из 15 рядов наблюдений температур января нестационарными при  $\Delta > 10\%$  является 1 ряд с моделью ступенчатых изменений. Статистически значимых по критерию Фишера при уровне значимости 5% 4 ряда. Статистически значимыми коэффициентами корреляции, при значении  $R > 0,26$ , являются 4 ряда.



### 3.3. Алгоритм по оценке устойчивости показателей нестационарности.

Расчет производят по программе Timod1 при оценке устойчивости показателей нестационарности.

— моделями нестационарного среднего аппроксимируется временной ряд за весь период наблюдений и предварительно оценивается их эффективность и год перехода от одних стационарных условий к другим;

— год начала наблюдений постепенно сдвигается от прошлого к настоящему и оценивается устойчивость показателей эффективности нестационарных моделей ( $r$ ,  $\Delta_{tr}$  и  $\Delta_{st}$ ) и года перехода ( $T_{ст}$ ) при разных начальных годах временного ряда;

— если показатели модели нестационарного среднего эффективны, то оценивается какая из двух моделей лучше: линейного тренда или ступенчатых изменений путем сравнения  $\Delta_{tr}$  и  $\Delta_{st}$ ;

— выбирается наиболее повторяющийся год перехода от одних стационарных условий к другим ( $T_{стр}$ ) на основе анализа устойчивости показателей нестационарности и временной ряд по этому году делится на две части;

— оценивается статистическая значимость коэффициента корреляции ( $r$ ) со временем для каждой части временного ряда с целью оценки стационарности среднего значений;

— рассчитываются средние значения для каждой части временного ряда ( $x_{ср1}$  и  $x_{ср2}$ ) и оценивается их стационарность на основе статистического критерия Стьюдента ;

— для количественной оценки влияния изменений климата рассчитывается разность между средними значениями ( $\Delta x_{ср} = x_{ср2} - x_{ср1}$ ) и сопоставляется со средним квадратическим отклонением всего ряда ( $\sigma$ ), которое характеризует естественную климатическую изменчивость.

### 3.4 Пространственные обобщения показателей нестационарности

В таблице 3.3.1 показаны результаты расчетов по моделям линейного тренда ( $\Delta tr$ ) и ступенчатых изменений ( $\Delta st$ ) временных рядов за январь.

Станция ,		Весь период	1900	1920	1940	1960	1980	2000
Basel 06601	d tr	7.1	3.3	3.6	8.9	6.3	3.5	0.9
	d st	7.1	7.8	8.2	8.7	8.4	4.0	3.2
	year	1998	1901	1922	1940	1990	<b>1990</b>	2011
	R tr	0.37	0.26	0.27	0.41	0.35	0.26	0.14
Newshatle 06604	d tr	0.2	5.3	0.5	1.3	6.3	2.9	1.6
	d st	4.5	7	5.6	5.5	7.2	3.4	4.4
	year	1988	1988	1921	1941	<b>1988</b>	2011	2011
	R tr	0.66	0.32	0.1	0.16	0.35	0.24	0.18
Engelberg 06655	d tr	0.2	3.2	1.8	5.5	0.7	0.4	2.4
	d st	8.8	4	3.5	5.4	5.6	5.6	3.5
	year	1864	1988	1988	<b>1988</b>	1960	1980	2011
	R tr	-0.07	0.25	0.19	0.33	0.12	0.14	0.22
Saentis 06680	d tr	1.4	0.8	0.7	1.4	0.6	0.1	0.1
	d st	5.1	5.6	5.6	5.5	5.7	3.2	0.8
	year	1988	1900	1990	1940	1960	<b>1990</b>	2010
	R tr	0.17	0.13	0.11	0.17	0.11	0.01	-0.05
Geneve 06700	d tr	9.4	7.1	5.1	12.2	0.9	0.2	0.1
	d st	8.6	8.0	7.4	10.3	1.4	5.8	6.6
	year	1912	1988	1988	<b>1988</b>	1990	1979	2000
	R tr	0.42	0.37	0.31	0.48	0.14	0.31	0.03

Davos 06784	d tr	4.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
	d st	8.3	8.8	8.8	8.7	8.7	1.9	1.6
	year	1969	1901	1990	1940	1961	<b>1990</b>	2011
	R tr	0.31	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.07
Hohenpeissenb 10962	d tr	1.7	1.9	1.9	5.3	7.4	8	3.9
	d st	4.1	1.5	1.5	1.4	8.6	10.5	3
	year	1969	1901	1922	1941	<b>1969</b>	2007	2011
	R tr	0.19	0.19	0.2	0.32	0.38	0.39	0.28
Klagenfurt 11231	d tr	1.4	1.9	2.0	7.9	4.4	3.8	5.6
	d st	3.4	4.2	4.5	10	7.9	4.9	4.8
	year	1988	1969	1969	<b>1969</b>	1970	1980	2010
	R tr	0.17	0.19	0.2	0.39	0.29	0.27	0.33
Innsbruck 11320	d tr	0.6	2.1	1.8	6.5	2.7	2.2	0.6
	d st	2.2	4.8	4.8	7.8	1.5	1.5	1.3
	year	1969	1988	1988	<b>1988</b>	1988	1990	2011
	R tr	0.11	0.20	0.19	0.35	0.23	0.21	0.11
Sonnblick 11343	d tr	2.8	2.3	2.0	4.9	2.4	0.4	0.6
	d st	5.8	6.0	6.1	8.7	8.4	4.4	5.8
	year	1988	1988	1988	1988	<b>1988</b>	1990	2000
	R tr	0.23	0.21	0.2	0.31	0.22	0.09	0.11
Bolcano 16020	d tr	0.3	4.8	5.9	1.1	9.3	5.1	6.6
	d st	4.7	7.3	8	1.1	10.4	6.4	7.9
	year	1972	1972	1972	<b>1972</b>	1970	1992	2011
	R tr	0.07	0.3	0.34	0.46	0.42	0.32	0.36
PassoRolle 16021	d tr	0.2	2.4	3.1	7.7	3.6	1	0.5
	d st	5.2	7	7.4	10.3	8.7	6.6	2

	year	1988	1988	1988	1988	<b>1988</b>	1990	2011
	R tr	0.07	0.22	0.25	0.38	0.26	0.14	0.1
Aosta valley	d tr	0.3	3.4	3.0	5.9	1.7	2.1	1.2
16054	d st	3.8	4.8	4.2	7.1	2.8	3.8	1.3
	year	1965	1965	<b>1965</b>	1955	1988	1993	2021
	R tr	0.08	0.26	0.24	0.34	0.18	0.2	0.15
Torino	d tr	1.9	0.9	0.1	7	7	0.1	0.1
16059	d st	4.7	3.2	3.4	8.6	8.6	8.8	8.8
	year	1969	2003	1954	2003	<b>2003</b>	1979	2000
	R tr	0.2	0.14	0.04	0.37	0.37	0.02	0.03
Lugano	d tr	7	10.2	11.2	16.6	10.7	4.0	1.4
67701	d st	9.9	12.1	12.3	13.4	10.6	8.8	9.8
	year	1972	1993	1993	1993	<b>1993</b>	1980	1999
	R tr	0.37	0.44	0.46	0.55	0.45	0.28	0.17

Таблица 3.3.1 – показатели нестационарности января

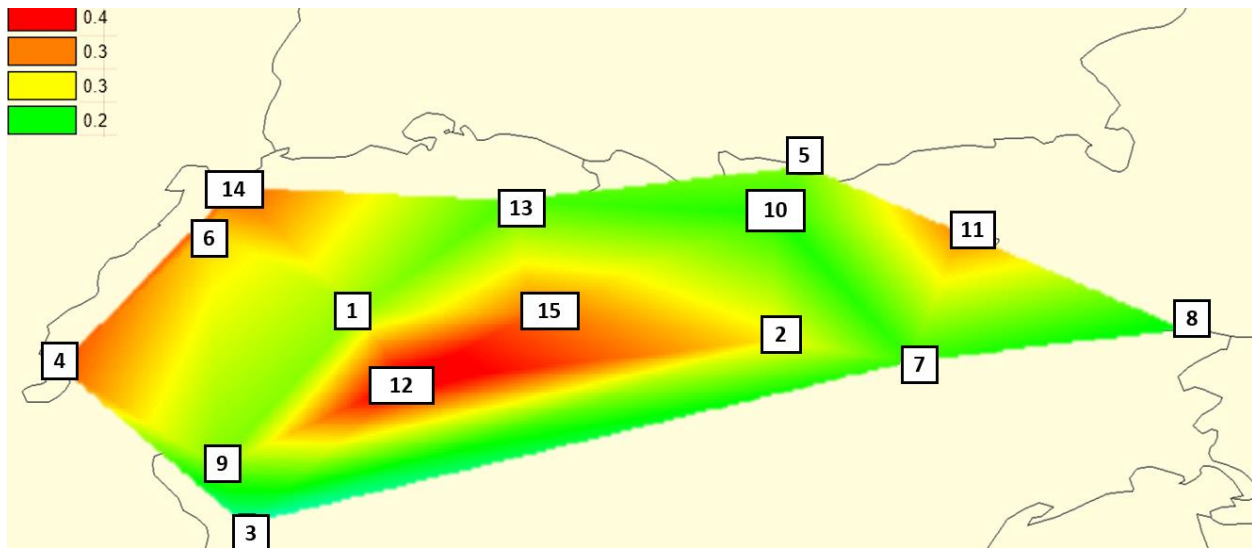


Рис 3.3.1 Пространственные распределения коэффициента корреляции для температуры января 1900-2021

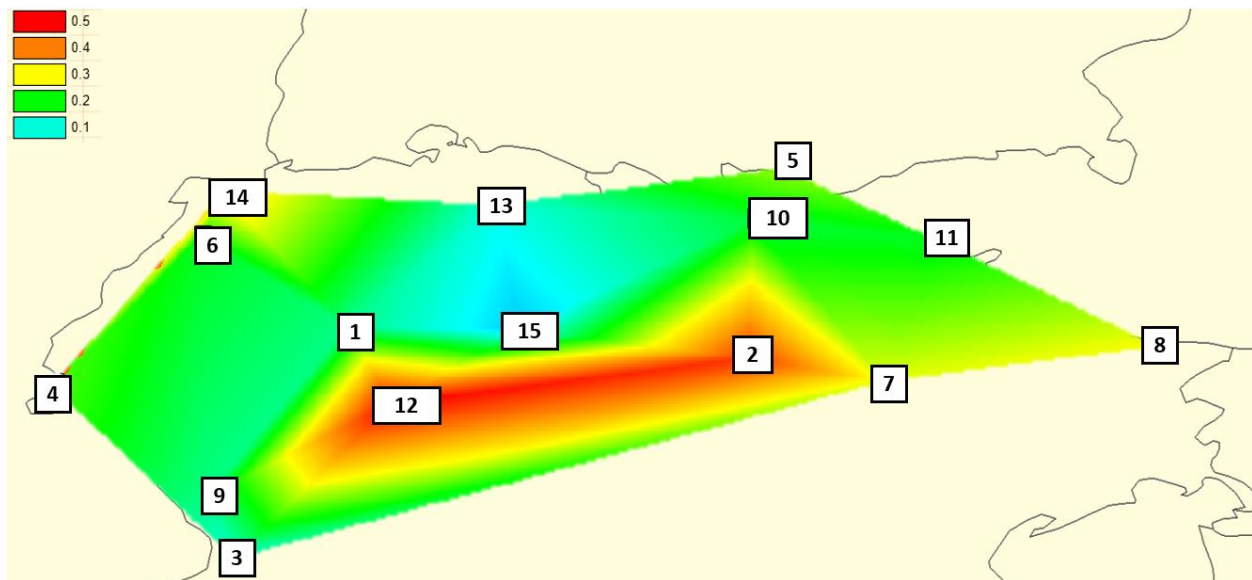


Рис. 3.3.2 Пространственные распределения коэффициента корреляции для температуры января 1950-2021

- 1 - Engelberg 2 - Bolcano 3 - Torino 4 - Geneve 5 - Hohenpeissenb  
 6 – Newshatle 7- Passo Rolle 8 - Klagenfurt 9 - Aosta Valley 10 - Innsbruck 11-  
 Sonnblick 12 – Lugano 13 - Saentis 14 - Basel 15 – Davos

Были построены пространственные модели распределения коэффициента корреляции за два периода. 1900-2021 и 1950-2021. Проанализировав рисунки можно сделать следующие выводы. Наиболее ярко потепление проявляется на станциях Volcano и Lugano за оба периода. За больший период также следует отметить высокогорный Sonnblick и западную часть региона Geneve/ Basel. За малый период наименьший коэффициент находится на станции Davos. За оба периода коэффициент в среднем с пределах 0.2

### 3. 5 Количественная оценка современного потепления Альпийского региона 1950-2021 годов

Для того, чтобы выявить современное потепление в 1950-2021 гг. ряды распределения среднемесячных температур в январе были урезаны до 1950 года, чтобы модели линейного тренда и ступенчатых изменений не показывали современного потепления. Помимо этого, для сравнения были отобраны данные о современном потеплении, без учета естественного потепления, то есть период с 1950 года до конца измерения. Результаты моделирования приведены в таблице 3.5.1.

Для оценки различий современного потепления 1960-2020 произведен расчет разницы температур по следующим формулам:

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

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

$$\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I,$$

Где  $\Delta_I$  – разность средних температур естественного потепления 1950-2020х годов,  $\Delta_{II}$  – разность средних температур современного потепления,  $\Delta'$  – разность температур современного потепления.

Получившееся пространственное распределение показывает разницу между  $\Delta_{II}$  и  $\Delta_I$ . Предполагая, что вклад природной составляющей вносит такой же вклад в современное потепление, как и предыдущее естественное потепление, таким образом, получается, что вычисленная разность температур характеризует минимальный вклад в современное потепление.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.5.1. для января месяца.

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_I$	$\Delta_{II}$	$\Delta'$
16059	Torino	45,04	7,41	1.7	2.3	0.6
6784	Davos	46,48	9,50	-5.8	-4.7	1.1
16054	Aosta valley	45,43	7,22	-0.4	0.5	0.9
11320	Innsbruck	47,16	11,23	-2	-0.3	1.7
10962	Hohenpeissenb	47,48	11,43	-4.5	-2.9	1.6
67701	Lugano	46,01	8,57	2.6	3.9	1.3
6601	Basel	47,33	7,34	0.6	2.3	1.7
6700	Geneve	46,12	6,08	0.7	2.2	1.5
6680	Saentis	47,25	9,34	-8.3	-6.5	1.8
11343	Sonnblick	47,03	12,57	-13.1	-11.3	1.8
6655	Engelberg	46,49	8,24	-2.8	-1.6	1.2
6604	Newshatle	47,05	7,17	0.4	1.8	1.4
16020	Bolcano	46,29	11,2	0.3	1.7	1.4
16021	Passo Rolle	46,15	12,2	-5.6	-3.9	1.7
11231	Klagenfurt	46,37	14,18	-2.8	-1.2	1.6
Среднее значение				-2.6	-1.2	1.4

Таблица 3.5.1. – Сравнение современного потепления Альпы в январе с потеплением прошлого века относительно холодного периода.

Исходя из полученных данных таблицы 3.5.1, получается, что средняя температура января в период с 1950 по 1988 составила  $-2.6^{\circ}\text{C}$ . А за период с 1989 по 2021 составило  $-1.2^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, среднее потепление по территории исследования в январе составило  $1.4^{\circ}\text{C}$ .



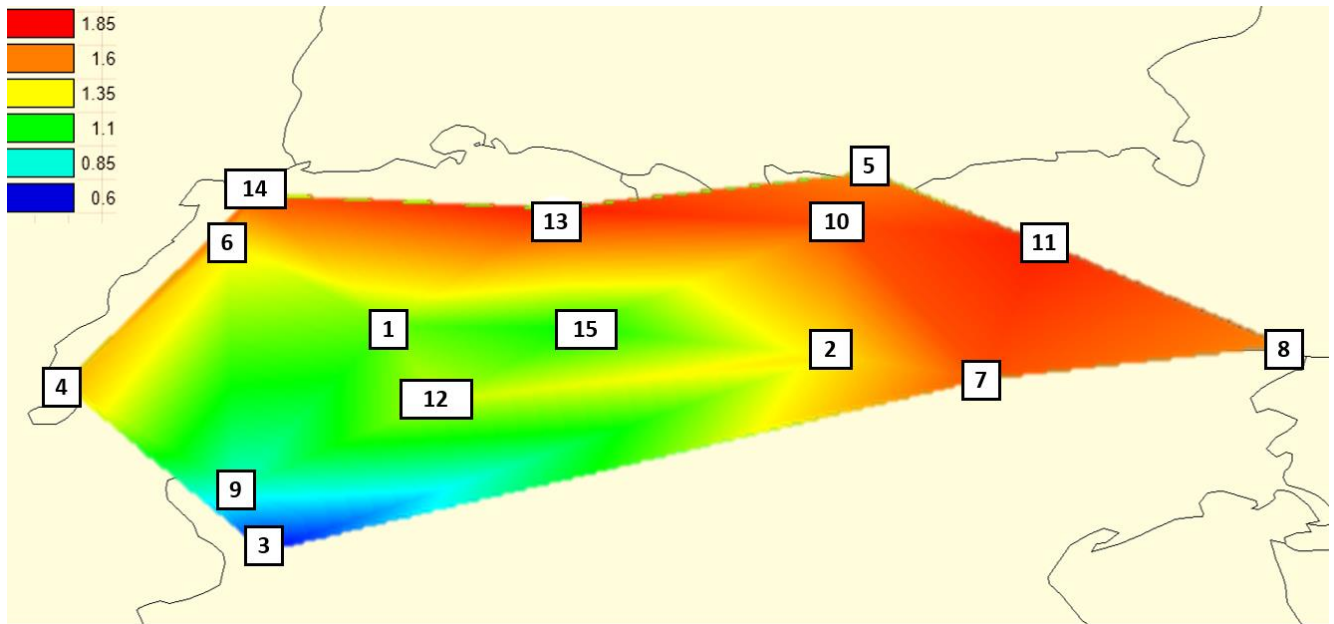


Рис 3.5.1. Пространственное распределение разницы температур января.

- 1 - Engelberg 2 - Bolcano 3 - Torino 4 - Geneve 5 - Hohenpeissenb  
 6 – Newshatle 7- Passo Rolle 8 - Klagenfurt 9 - Aosta Valley 10 - Innsbruck 11-  
 Sonnblick 12 – Lugano 13 - Saentis 14 - Basel 15 – Davos

Анализируя данный рисунок, можно сделать вывод, что потепление в январе наблюдаются в северо- восточной чати до 1.85 градусов, а в самом южном пункте Torino составляет всего 0.6 градусов

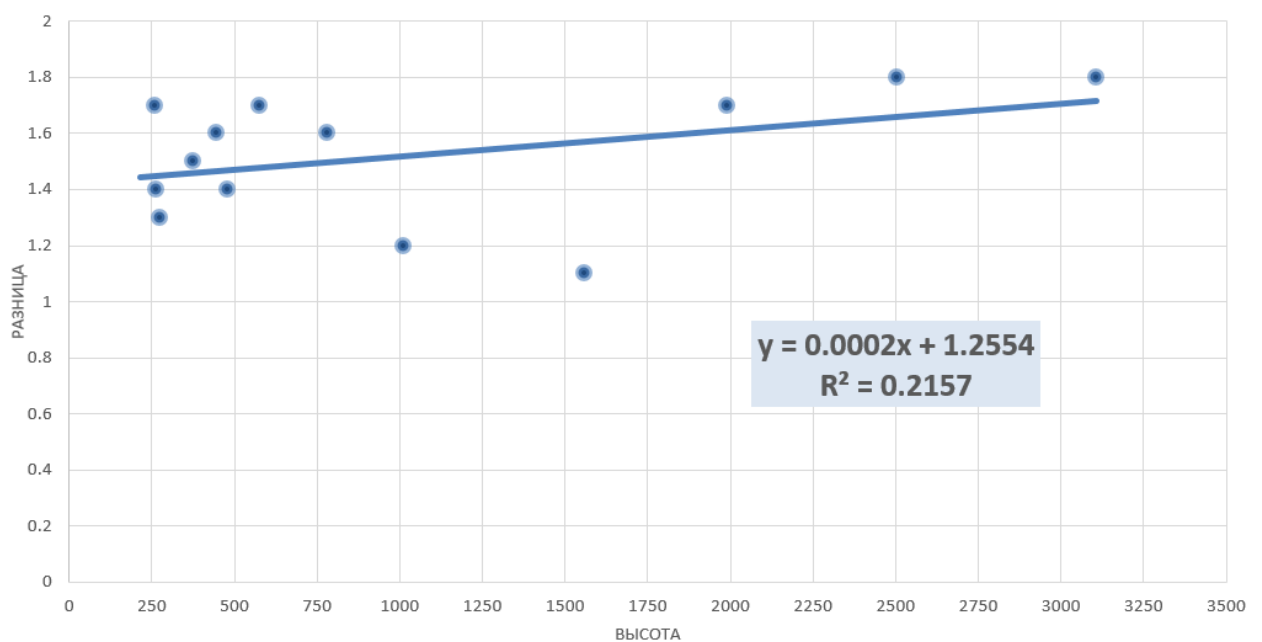


Рис 3.5.2. График зависимости разницы температур и высоты.

Для точности пренебрегаем крайними точками, а именно пунктами на самых низких высотах Torino и Aosta valley. Самое низкое значение  $\Delta T$  января находится в PassoRolle (1989), а самое высокое в высотных пунктах Saentis (2502) и Sonnblick (3106). Линий тренда имеет следующее уравнение:  $y=0.0002x+1.2554$  с коэффициентом корреляции 0.1257

	t	СКО	t/ско
Torino	0.6	1.4	0.4
Davos	1.1	1.7	0.7
Aosta valley	0.9	1.5	0.6
Innsbruck	1.7	1.5	1.1
Hohenpeissenb	1.6	1.8	0.9
Lugano	1.3	1.5	0.9
Basel	1.7	1.7	1.0
Geneve	1.5	1.7	0.9
Saentis	1.8	2.0	0.9
Sonnblick	1.8	1.6	1.1
Engelberg	1.2	1.6	0.8
Newshatle	1.4	1.7	0.8
Bolcano	1.4	1.3	1.0
Passo Rolle	1.7	1.6	1.1
Klagenfurt	1.6	1.4	1.1

Таблица 3.5.2. Среднее квадратическое отклонение температур за современный (1950-2021) период января

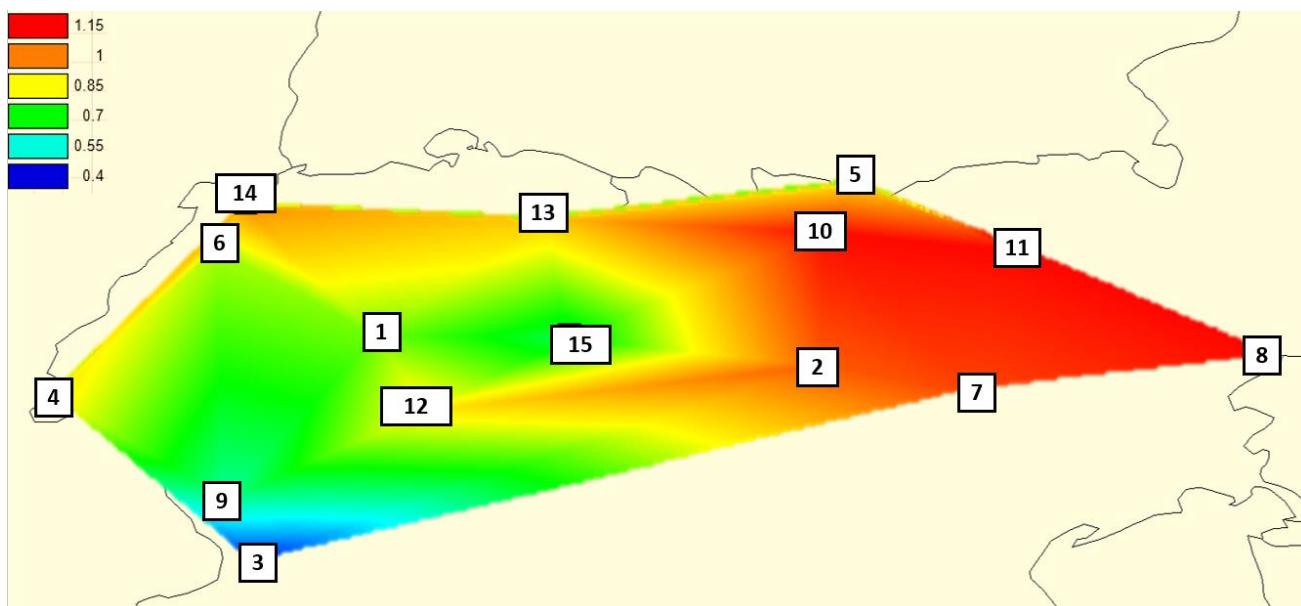


Рис 3.5.2 Пространственное распределение отнлшения  $\Delta T$  к СКО

1 - Engelberg 2 - Bolcano 3 - Torino 4 - Geneve 5 - Hohenpeissenb  
 6 – Newshatle 7- Passo Rolle 8 - Klagenfurt 9 - Aosta Valley 10 - Innsbruck 11-  
 Sonnblick 12 – Lugano 13 - Saentis 14 - Basel 15 – Davos

В центрально-восточной части отношение больше 1 (100%), южной, западной не превышает 1, колеблется от 0.4 в Torino до 0.7 в центральной части.

Глава 4 Оценка проявлений современных климатических изменений летом  
(июль)

4.1 Результаты моделирования временных рядов в пунктах наблюдений.

Код	$\Delta_{тр},\%$	$\Delta_{ст},\%$	F <sub>тр</sub>	F <sub>ст</sub>	T <sub>ст</sub>	T <sub>нач</sub>	T <sub>к</sub>	n	R
16059	0.3	1.7	1.01	1.03	1809	1753	2021	269	-0.08
6784	1.7	6.8	1.03	1.15	1982	1796	2021	269	0.18
16054	3	8.7	1.06	1.2	1982	1756	2021	269	0.24
11320	0.2	1.4	1	1.03	2006	1764	2021	269	0.06
10962	1.7	5.2	1.04	1.11	1982	1791	2021	269	0.18
67701	1.9	6.6	1.04	1.15	1982	1754	2021	269	0.2
6601	4.5	7.3	1.1	1.16	1982	1755	2021	269	0.3
6700	3	8	1.06	1.18	1982	1753	2021	269	0.24
6680	2.8	6.9	1.06	1.15	1982	1796	2021	269	0.24
11343	1.8	8.4	1.04	1.19	1982	1887	2021	263	0.19
6655	2.8	5.5	1.06	1.12	2003	1765	2021	269	0.23
6604	3.5	5.5	1.07	1.12	1982	1756	2021	269	0.26
16020	2.5	8.1	1.05	1.18	1982	1756	2021	269	0.22
16021	1.4	6.1	1.03	1.14	1982	1796	2021	269	0.16
11320	0.1	1.5	1	1.03	2006	1764	2021	245	0.05
Среднее значение	2.1	5.8	1.0	1.1	1975	1776	2021	267	0.2

Таблица 4.4.1 – Результаты оценки эффективности нестационарных моделей для многолетних рядов температур июля

Из результатов таблицы 6 следует, что из 15 рядов наблюдений температур января нестационарными при  $\Delta > 10\%$  является 1 ряд с моделью ступенчатых изменений. Статистически значимых по критерию Фишера при уровне значимости 5% 4 ряда . Статистически значимыми коэффициентами корреляции, при значении  $R > 0,26$ , являются 4 ряда.

#### 4.2. Пространственные обобщения показателей нестационарности

В таблице 3.3.1 показаны результаты расчетов по моделям линейного тренда ( $\Delta tr$ ) и ступенчатых изменений ( $\Delta st$ ) временных рядов за июль.

		Весь период	1900	1920	1940	1960	1980	2000
Basel 06601	d tr	7.1	4.6	3.8	5.0	8.6	5.9	5.0
	d st	7.1	1.9	2.1	2.0	1.9	6.5	2.6
	year	1998	1902	1990	1992	<b>1998</b>	2006	2010
	R tr	0.37	0.30	0.27	0.31	0.41	0.34	0.31
Newshatle 06604	d tr	0.2	0.4	0.3	0.3	6/9	4.1	6.9
	d st	4.5	6.7	6.8	6.7	7/2	4.2	5.3
	year	1988	1988	1920	<b>1988</b>	1982	2010	2010
	R tr	0.06	0.09	0.07	0.07	0/37	0.28	0.36
Engelberg 06655	d tr	0.2	7.5	3.6	3.4	10.5	7.3	11.6
	d st	8.8	7.9	7.9	8.5	6.7	6.6	8.2
	year	1864	2003	2006	2006	2006	<b>2006</b>	2010
	R tr	-0.07	0.38	0.27	0.26	0.45	0.07	0.47
Saentis 06680	d tr	1.4	0.6	0.3	0.4	0.8	2.7	9.9
	d st	5.1	7.7	7.6	7.6	7.5	4.4	6.0
	year	1988	1902	1919	1988	<b>1988</b>	2006	2010
	R tr	0.17	0.11	0.08	0.09	0.13	0.23	0.43
Geneve 06700	d tr	9.4	10.7	8.0	7.5	1.6	0.3	0.4
	d st	8.6	12/2	11.4	1.1	1.7	7.5	7.5
	year	1912	1982	1920	1982	<b>1982</b>	1989	2000

	R tr	0.42	0.45	0.39	0.38	0.55	0.35	0.09
Davos 06784	d tr	4.8	0.1	0.1	0.4	1.2	5.6	7.8
	d st	8.3	6.5	6.6	6.8	6.9	6.1	3.5
	year	1969	1901	1969	1969	1961	2006	2010
	R tr	0.31	0.04	0.04	0.09	0.27	0.33	0.39
Hohenpeisse nb 10962	d tr	1.7	1.3	0.7	1.5	11.7	6	7.8
	d st	4.1	3.4	3.4	3.2	12.1	7.7	4.7
	year	1969	1982	1921	1954	<b>1982</b>	2006	2010
	R tr	0.19	0.16	0.12	0.17	0.47	0.34	0.39
Klagenfurt 11231	d tr	0.6	0.1	0.3	1.6	12.7	5.1	4.6
	d st	2.2	2.7	6.0	5.7	1.4	6.2	3.3
	year	1969	2006	1953	2006	1982	<b>2006</b>	2010
	R tr	0.11	0.01	-0.08	0.18	0.49	0.31	0.3
Innsbruck 11320	d tr	1.4	0.1	0.4	1.1	1.2	4.7	4.3
	d st	3.4	2.7	6.4	5.8	1.4	6.8	2.5
	year	1988	2006	1954	2001	1982	<b>2006</b>	2010
	R tr	0.17	0.01	-0.09	0.15	0.47	0.3	0.29
Sonnblick 11343	d tr	2.8	14.5	10.7	1.3	1.9	5.9	1.8
	d st	5.8	1.5	1.5	1.5	1.8	1.1	1.2
	year	1988	1982	1982	1982	<b>1982</b>	2006	2010
	R tr	0.23	0.52	0.45	0.5	0.58	0.34	0.58
Bolcano 16020	d tr	0.3	9.2	8.7	13.2	2.1	8.9	8.5
	d st	4.7	1.5	1.5	1.8	2.2	8.3	9.4
	year	1972	1982	1982	1982	<b>1982</b>	2010	2010
	R tr	0.07	0.42	0.41	0.5	0.61	0.41	0.4

PassoRolle 16021	d tr	0.2	0.9	0.5	0.7	18.3	5.1	3.5
	d st	5.2	7.3	7.3	7.3	21.2	6.1	1.0
	year	1988	<b>1988</b>	2005	1943	1982	2002	2010
	R tr	0.07	0.13	0.1	0.12	0.58	0.31	0.26
Aosta valley 16054	d tr	0.3	1.4	9.4	7.7	1.4	7	5.8
	d st	3.8	1.4	1.2	1.1	1.4	9.2	0.1
	year	1965	1982	1982	2003	<b>1982</b>	2003	2000
	R tr	0.08	0.5	0.42	0.38	0.5	0.37	0.34
Torino 16059	d tr	1.9	1.1	0.7	1.2	11.5	0.6	0.6
	d st	4.7	4.6	4.6	4.0	12.7	0.7	7.3
	year	1869	1963	1994	<b>1994</b>	1993	1981	2000
	R tr	0.2	-0.15	-0.12	0.15	0.47	0.11	0.11
Lugano 67701	d tr	7	9.2	7	1.6	0.9	4.5	3.7
	d st	9.9	1.2	1.1	7.3	7.3	1.9	2.0
	year	1972	1982	2003	1980	1980	<b>1980</b>	2000
	R tr	0.37	0.42	0.37	0.18	0.13	0.3	0.27

Таблица 4.2.1.– показатели нестационарности июля.



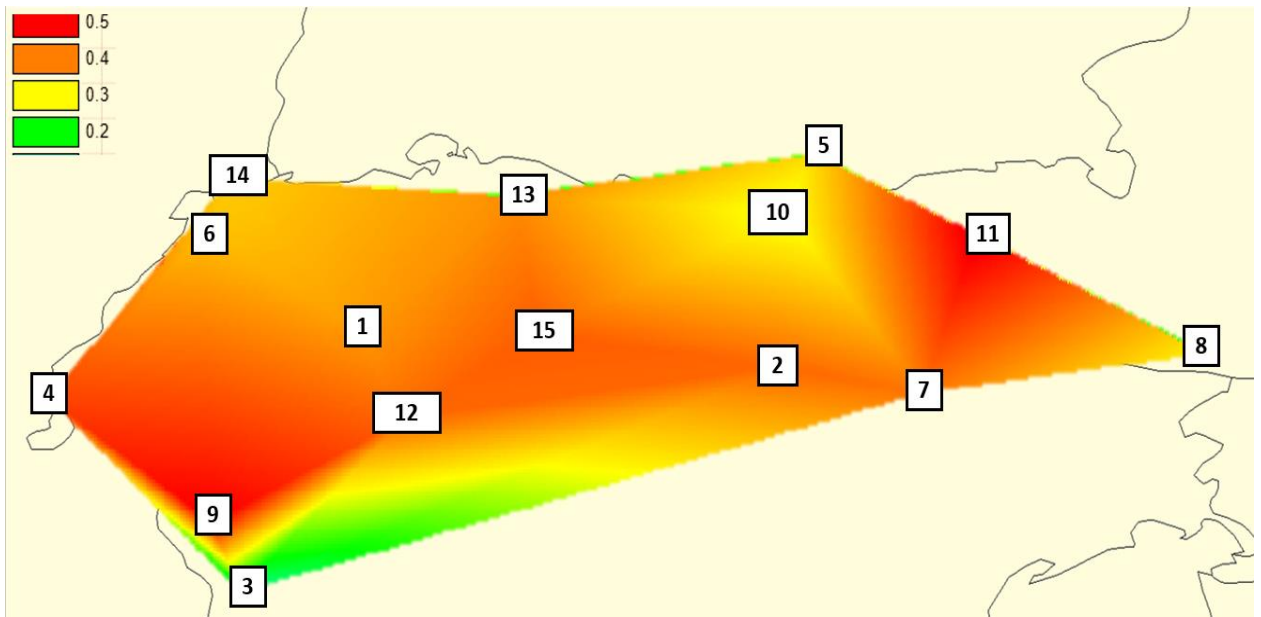


Рис 4.2.1. Пространственные распределения коэффициента корреляции для температуры, июль.

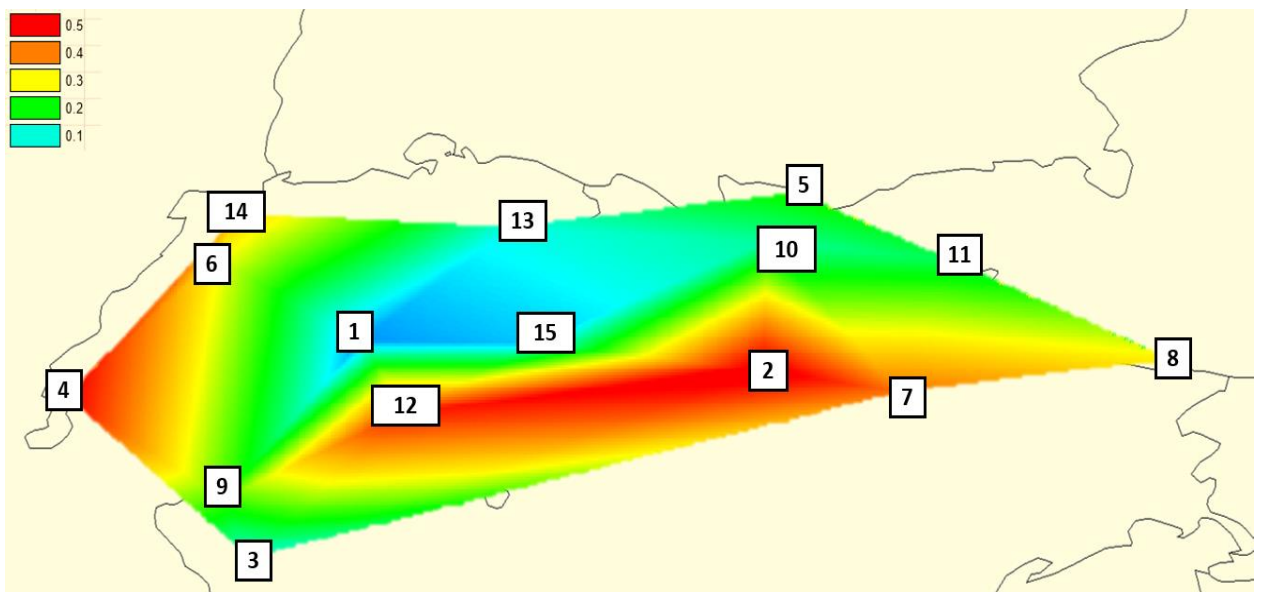


Рис. 4.2.2. Пространственные распределения коэффициента корреляции для температуры июль 1950-2021

1 - Engelberg 2 - Bolcano 3 - Torino 4 - Geneve 5 - Hohenpeissenb 6 –  
 Newshatle 7- Passo Rolle 8 - Klagenfurt 9 - Aosta Valley 10 - Innsbruck 11-  
 Sonnblick 12 – Lugano 13 - Saentis 14 - Basel 15 – Davos

Были построены пространственные модели распределения коэффициента корреляции за два периода. 1900-2021 и 1950-2021. Проанализировав рисунки можно сделать следующие выводы. За большой период практически везде очень ярко проявляется потепление, кроме самого южного пункта – Torino. За малый период распределение колеблется от 0.1 (стат.не значится) до 0.5 в юго-восточной оконечности, например на станции Volcano.

#### 4. 3 Количественная оценка современного потепления Альпийского региона 1950-2021 годов

Результаты расчетов представлены в таблице 3.5.2. для января месяца. Также на основе данных таблицы построена пространственное распределение  $\Delta'$ . Получившееся пространственное распределение показывает разницу между  $\Delta_{II}$  и  $\Delta_I$ . 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.

$$\Delta_I = \bar{t}(1950 - 1982)$$

$$\Delta_{II} = \bar{t}(1983-2021)$$

Таблица 4.3.1. – Сравнение современного потепления Арктики в январе с потеплением прошлого века относительно холодного периода.

Код станции	Название	Широта	Долгота	$\Delta_I$	$\Delta_{II}$	$\Delta'$
16059	Torino	45,04	7,41	22.8	23.1	0.3
6784	Davos	46,48	9,50	10.9	12.6	1.7
16054	Aosta valley	45,43	7,22	20.7	21.9	1.2
11320	Innsbruck	47,16	11,23	17.8	18.9	1.1
10962	Hohenpeissenb	47,48	11,43	14.8	16.3	1.5
67701	Lugano	46,01	8,57	21	22.4	1.4
6601	Basel	47,33	7,34	18.6	20.7	2.1
6700	Geneve	46,12	6,08	18.9	20.5	1.6
6680	Saentis	47,25	9,34	4.5	6.4	1.9
11343	Sonnblick	47,03	12,57	1.8	3.3	1.5
6655	Engelberg	46,49	8,24	14.4	15.5	1.1

6604	Newshatle	47,05	7,17	18.9	20.1	1.2
16020	Bolcano	46,29	11,2	21.9	23.6	1.7
16021	Passo Rolle	46,15	12,2	10.1	11.6	1.5
11231	Klagenfurt	46,37	14,18	17.7	18.8	1.1
Среднее значение				15.7	17.0	1.4

Исходя из полученных данных Таблицы 4.3.1, получается, что средняя температура июля в период с 1950 по 1982 составила 15.7°C. А за период с 1983 по 2021 составила 17 °С. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в январе составило 1.4°C.

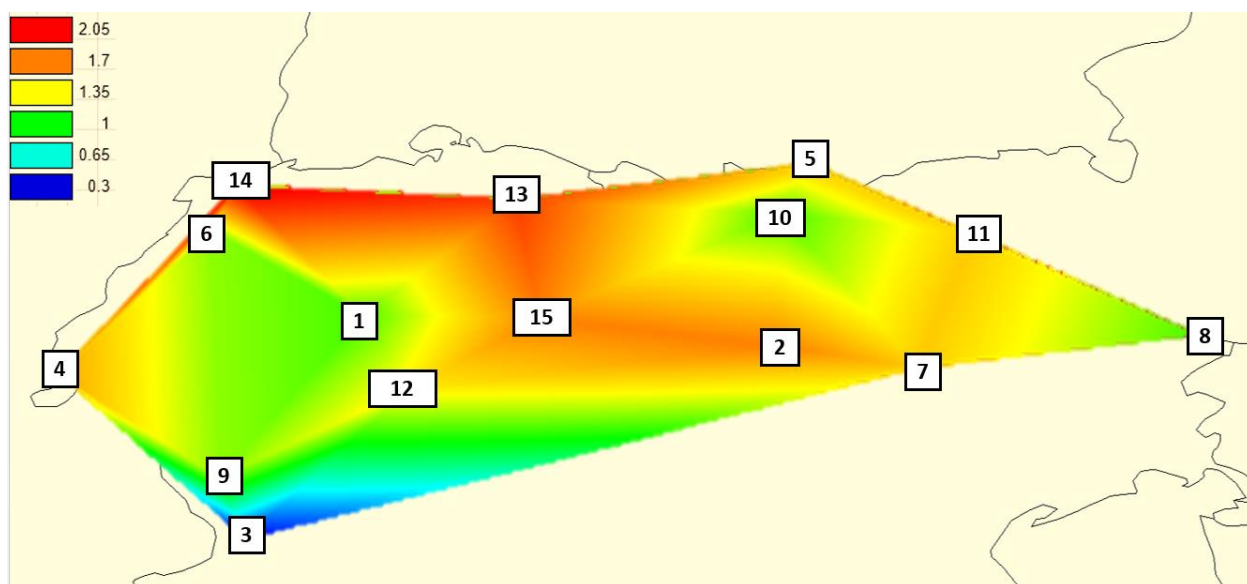


Рис 4.3. 1. Пространственное распределение разницы температур июля.

1 - Engelberg 2 - Bolcano 3 - Torino 4 - Geneve 5 - Hohenpeissenb  
6 – Newshatle 7- Passo Rolle 8 - Klagenfurt 9 - Aosta Valley 10 - Innsbruck 11-  
Sonnblick 12 – Lugano 13 - Saentis 14 - Basel 15 – Davos

Анализируя данный рисунок, можно сделать вывод, что потепление в июле проявляется больше всего на севере и востоке. В южной части не превышает 0.65. В высокоточных пунктах колеблется от 1 до 1.7

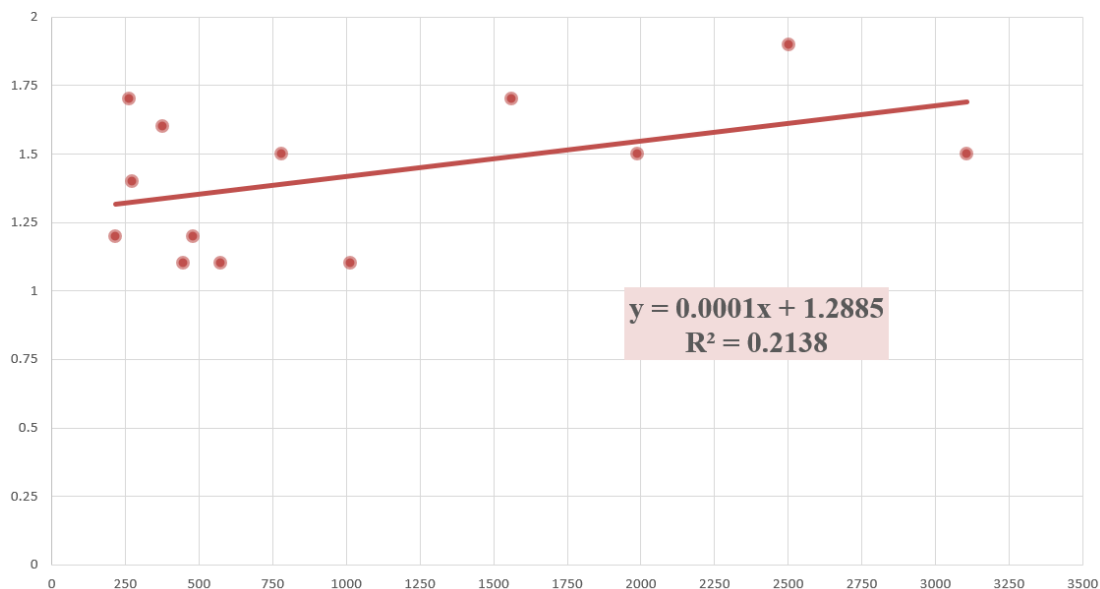


Рис 4.3.2. График зависимости разницы температур и высоты.

Для точности пренебрегаем крайними точками, а именно пунктами на самых низких высотах Torino и Basel. Самое низкое значение  $\Delta T$  января находится в PassoRolle (1989), а самое высокое в высотных пунктах Saentis (2502) и Sonnblick (3106). Линий тренда имеет следующее уравнение:  $y=0.0002x+1.2554$  с коэффициентом корреляции 0.1257

	t	CKO	t/cko
Torino	0.3	1.7	0.2
Davos	1.7	2.0	0.8
Aosta valley	1.2	1.9	0.6
Innsbruck	1.1	2.5	0.4
Hohenpeissenb	1.5	2.5	0.6
Lugano	1.4	1.3	1.0
Basel	2.1	2.5	0.8
Geneve	1.6	1.9	0.9
Saentis	1.9	2.3	0.8
Sonnblick	1.5	2.4	0.6
Engelberg	1.1	2.3	0.5
Newshatle	1.2	2.1	0.6
Bolcano	1.7	1.2	1.4
Passo Rolle	1.5	2.1	0.7
Klagenfurt	1.1	2.4	0.5

Таблица 4.3.2. Среднее квадратическое отклонение температур за современный (1950-2021)

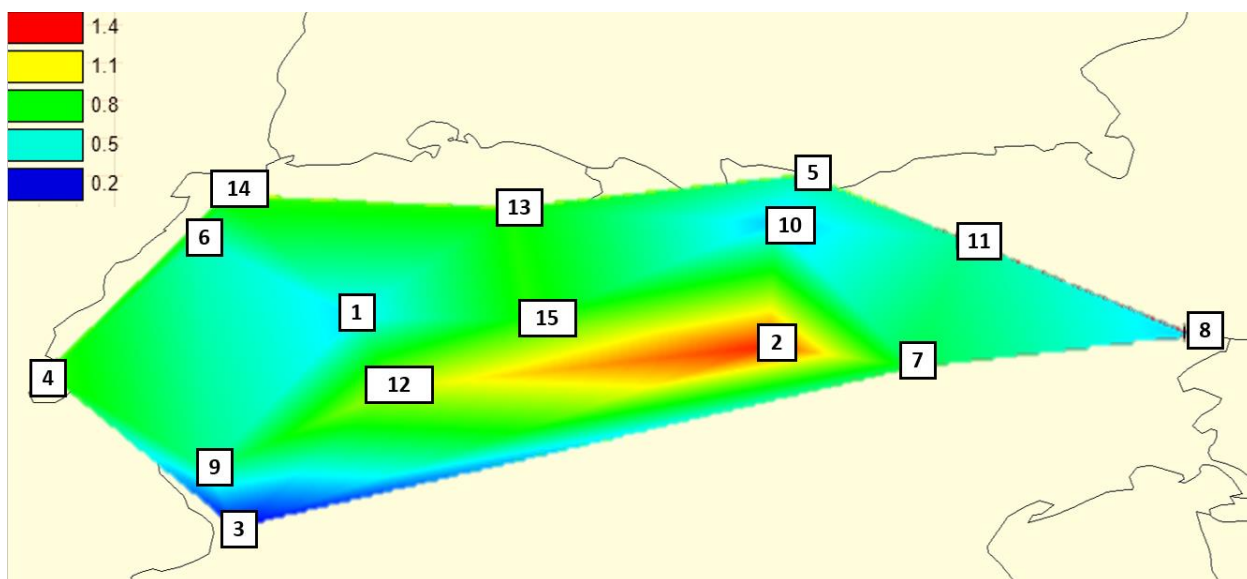


Рис 4.3.3 Пространственное распределение отношения  $\Delta T$  к CKO.

1 - Engelberg 2 - Bolcano 3 - Torino 4 - Geneve 5 - Hohenpeissenb  
6 – Newshatle 7- Passo Rolle 8 - Klagenfurt 9 - Aosta Valley 10 - Innsbruck 11-  
Sonnblick 12 – Lugano 13 - Saentis 14 - Basel 15 – Davos

В большей части отношение меньше 1 (100%), южной не превышает 0.2.  
Исключение пункт Bolcano, где отношение достигает 1.4.

## Закключение.

В данной работе были выбраны 15 станций Альпийского региона. Были восстановлены ряды наблюдений, произведена оценка изменений и получены следующие выводы:

- 1) Самые холодные температуры наблюдаются в Sonnblick. В июле средняя температура не превышает 0, а зимой в среднем составляет -14.1 . Самые тёплые температуры в пункте Lugano в январе, средняя температура 1.1 градус и в Togino в июле, составляя 22.9 градуса
- 2) Были построены пространственные модели распределения коэффициента корреляции за два периода. 1900-2021 и 1950-2021. Проанализировав рисунки можно сделать следующие выводы.

Наиболее ярко потепление января проявляется на станциях Volcano и Lugano за оба периода. За больший период также следует отметить высокогорный Sonnblick и западную часть региона Geneve/ Basel. За малый период наименьший коэффициент находится на станции Davos. За оба периода коэффициент в среднем с пределах 0.2 За большой период практически везде очень ярко проявляется потепление в июле, кроме самого южного пункта – Togino. За малый период распределение колеблется от 0.1 (стат.не значится) до 0.5 в юго-восточной оконечности, например на станции Volcano.

- 3) Средняя температура января в период с 1950 по 1988 составила -2.6 °С. А за период с 1989 по 2021 составило -1.2 °С. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в январе составило 1.4°С. Потепление в январе наблюдаются в северо- восточной чати до 1.85 градусов, а в самом южном пункте Togino составляет всего 0.6 градусов



Средняя температура января в период с 1950 по 1982 составила 15.7°C. А за период с 1983 по 2021 составила 17 °С. Таким образом, среднее потепление по территории исследования в январе составило 1.4°C. что Потепление в июле проявляется больше всего на севере и востоке. В южной части не превышает 0.65. В высококорррных пунктах колеблется от 1 до 1.7

- 4) В центрально-восточной части отношение января больше 1 (100%), южной, западной не превышает1, колеблется от 0.4 в Torino до 0.7 в центральной части. В большей части отношение меньше 1 (100%), южной не превышает 0.2. Исключение пункт Volcano, где отношение достигает 1.4.

## Список литературы.

- 1 Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.. Практикум по климатологии. Часть I. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011 - 145 с.
- 2 Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Часть II. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012 –
- 3 Лобанов В.А., Методические указания «Оценка современных региональных изменений климатических характеристик». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2018 – 91 с.
- 4 Палкин И.И., Татарникова Т.М., Миклуш В.А., Краева Е.В. Требования по оформлению и содержанию выпускной квалификационной работы специалиста: методические указания. – СПб: РГГМУ, 2019 – 24 с.
- 5 <https://www.alpine-space.eu/>
- 6 <https://www.eea.europa.eu/>
- 7 <https://www.britannica.com/place/Alps/Climate>
- 8 [https://wwf.panda.org/discover/knowledge\\_hub/where\\_we\\_work/alps/problems/climate\\_change/](https://wwf.panda.org/discover/knowledge_hub/where_we_work/alps/problems/climate_change/)
- 9 <https://areal-tur.ru/rossiya/alpy-na-karte-evropy-s-granicami-gosudarstv-alpiiskie-gory.html>
10. <https://geosfera.org/evropa/138-alpy-gory-v-zapadnoj-evrope.html>