



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему «Исследование климатической изменчивости температуры воздуха»

Исполнитель Тимченко Иван Максимович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И. о. заведующего кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 11 » июня 2022 г.

Санкт–Петербург

2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Оглавление	2
Введение	3
Современные изменения климата. Глобальные и региональные проявления	5
Базы данных, используемые в исследовании	22
Анализ изменения продолжительности солнечного сияния и суммарной солнечной радиации	64
Заключение	77
Список используемых источников	80

Введение

За последние 50 лет изменение климата, на который повлияли динамические процессы Земли, внешние воздействия (например, интенсивность солнечной радиации) и деятельность человека, становится все более глобальной и неотложной проблемой. Многие страны на основе своего участия в международных организациях объединяют научные и технологические достижения с целью противостоять климатическим изменениям или адаптироваться к ним. Однако важной частью является прогнозирование социальных последствий – те элементы изменения климата, которые могут повлиять на благосостояние и жизнедеятельность человечества.

Цель выпускной квалификационной работы магистра - исследование проявлений климатических изменений в разных регионах.

Для достижения данной цели обязательно требуется решить соответствующие задачи:

- изучение научно-исследовательской литературы, посвящённой данной проблеме, а именно – изменение климата;
- создание базы данных об изменении температуры воздуха в поставленных точках Земли;
- проведение исследования изменений температуры воздуха и других параметров (изменение солнечного сияния и солнечной радиации);
- анализ результатов и формулировка выводов.

Объект исследования – атмосферы.

Объект исследования – изменения температуры воздуха.

Выпускная квалификационная работа магистра состоит из введения, трёх глав и заключения.

В первой главе рассказывается про изменение климата. Рассматриваются как природные причины, так и причины изменения климата, вызванные деятельностью человека.

Во второй главе описываются данные, которые были использованы в данной выпускной квалификационной работе и сайт, с которого эти данные были взяты.

В третьей главе описывается, как изменились среднегодовая температура, суммарная солнечная радиация и продолжительность солнечного сияния со временем.

Список использованных источников содержит 27 наименований.

1 СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

Проблема глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата становится в настоящее время как никогда актуальной в связи с усиливающимся влиянием антропогенных факторов, в частности, с продолжающимся ростом концентрации CO₂ и других парниковых газов в атмосфере. Согласно новейшим расчетам с использованием глобальных климатических моделей в течение XXI в. средняя глобальная температура воздуха может повыситься на 1,5-5,8 °C, если концентрация CO₂ удвоится. Отметим, что наиболее яркой особенностью изменения климата минувшего XX столетия является его глобальное потепление. По имеющимся оценкам средняя годовая глобальная температура приземного слоя воздуха за последние 100 лет увеличилась на $0,6 \pm 0,2$ °C. Анализ ее временных рядов позволил выявить неоднородный характер потепления: в период 1910-1946 гг. происходило потепление, в 1947-1975 гг. - слабое похолодание, начиная с 1976 г. отмечается фаза наиболее интенсивного потепления, которое продолжается и по настоящее время.

И в Стокгольмской декларации, и в Рамочной конвенции ООН, и в Парижском соглашении сообщаются не только экологические последствия изменения климата и необходимость мер по минимизации или адаптации к ним, но и то, что изменение климата может негативно повлиять на благосостояние отдельных людей и всего человечества. Эти результаты, отраженные в областях физического, морального и материального состояния людей, влияют на их жизнь и благополучие.

Авторы определили условие, вызывающее колебания, отмеченные среднегодовой температурой воздуха (СГТВ). Таким образом, потепление XX века поднималось на фоне увеличения частоты и интенсивности теплой фазы южных колебаний (Эль-Ниньо), а в период похолодания 1947-1975 гг. в

поведении Южного колебания преобладала тенденция к увеличению частоты повторения и интенсивности его холодной фазы (Ла-Нинья). Определенный вклад в понижение температуры внесли и другие факторы: снижение прозрачности атмосферы, увеличение ледовитости Арктики. В текущей работе данные геофизического мониторинга были использованы для объяснения многолетней динамики СГТВ – среднегодовых количеств чисел Вольфа, южных колебаний и геомагнитной активности, длительности дня, концентрации CO₂, Арктики и прозрачности атмосферы.

Известно, что скорость потепления для 1856 – 2001 годов составила для Земли в целом 0,41 °C/100 лет, для Северного полушария-0, 39 °C/100 лет, для Южного-0, 43°C / 100 лет. Кроме того, вековой ход среднегодовых температур воздуха в Южном полушарии характеризуется большей стабильностью и большей длительностью фаз потепления, чем похолодания. В то же время со второй половины XX века уровень потепления в Южном полушарии заметно снизился и был почти в два раза меньше, чем в Северном. Детальный многофакторный анализ (7 компонентов) показал, что природа генезиса изменчивости климата в каждом полушарии разная.

Если верить климатическим прогнозам, темпы глобального потепления в XXI веке, как минимум, повысятся вдвое.

По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), потепление последних десятилетий, зафиксированное глобальной сетью инструментальных метеорологических наблюдений, также охватывает тропики. При этом в умеренных и высоких широтах северного полушария она проявлялась в основном в холодное время года, тогда как в период 1910-1940 годов потепление было одновременно в зимнее время года и в летнее.

С 1856 года по сегодняшний день средняя температура воздуха в северном полушарии, по расчетам, увеличивается в соответствии с уравнением линейного тренда $y = 0,0046 \tau + 14,155$ ($R^2 = 0,5701$). Следует сказать, что в 1976 году температура имела наименьшее значение в 14, 3°C, а в последующие

годы она постоянно повышалась до 15, 3С° в 1998 году, то есть почти 1С° в течение 25 лет.

В первой половине двадцатого века, в период естественного потепления, первый максимум был в 1943 году и составил 14,81С°. Самая низкая температура за период исследования наблюдалась в 1862 году (14,0С°), то есть в XIX веке.

Межгодовые колебания в растущей отрасли температурной кривой в конце 20-го века не поднимались выше 0, 5С°. В последние десятилетия доля территории, занятой положительной аномалией среднегодовой температуры воздуха в северном полушарии, неуклонно растет. Эта доля в 2005 году, составляла около 88% площади всего полушария, то есть почти все северное полушарие имеет положительную аномалию.

Климат Земли видоизменяется как в локальном, так и в всемирном масштабе. По данным мониторинга климата, за последние годы скорость глобального потепления значительно повысилась. Десять самых жарких лет во время инструментальных наблюдений (с 1860 года) составили период с 1983 года, а семь-в 1990-х годах. Это привело к продлению безморозного периода в средних и высоких широтах. Количество атмосферных осадков в двадцатом веке увеличилось на 0,5-1% за десятилетие в большинстве регионов высоких и средних широт Северного полушария. В районе снежного покрова произошло снижение примерно на 10%.

Последние 20 лет входят в число самых жарких лет за все время регистрации температуры. В 2004 году глобальная температура поверхности превысила среднегодовое значение за период 1961-1990 гг. (14С°.) на 0,44 С°. Это позволило 2004 занять четвертое место среди самых жарких лет с 1861 года, сразу после 2003 года (0, 49С°.). По неофициальным данным, 2005 год был теплее, чем 2004 год.

В северном полушарии 1990-е годы были самым жарким десятилетием, средний избыток составлял 0, 38С°. Однако избыток температуры поверхности в среднем за последние пять лет (2000-2004) был значительно выше (0, 58С°).

В XX в. повышение глобальной температуры поверхности менялось от 0,6 до 0,7С°. Скорость изменений после 1976 года примерно в три раза выше, чем за последние сто лет в целом.

Одним из показателей потепления климата является снижение толщины пакового льда Арктики: с 3,12м в 1960-х годах до 1,8м в 1990-х годах, а площадь распространения сезонного морского льда неуклонно снижалась на 2,8% за 10 лет. Подобные изменения наблюдаются на шельфовых ледниках Антарктиды.

В 2004 году количество морского льда в Арктике оставалось ниже среднего многолетнего значения. В сентябре 2004 года он был на 13% ниже среднего за период 1973-2003 годов. Дефицит морского льда в сентябре был особенно заметен к северу от Аляски и Восточной Сибири. Область морского льда реагирует на различные климатические факторы.

Однако следует отметить, что для окружающей среды и человека ситуации важнее не плавные изменения температуры на земле, а появление климатических и погодных контрастов на региональном уровне, что приводит к появлению экстремальных ситуаций-сильных морозов и засух, бурь, снегов, ливней и т.д.

За последние 20 лет арктическая атмосфера в целом потеплела, особенно в двух регионах-Северо-Западной Канаде-Аляске и Северо-Восточной Сибири. Если в 30-х годах потепление случалось только в высоких широтах из-за активного попадания воздуха из низких широт, то сегодняшнее потепление Арктики отражает тенденцию потепления в масштабах полушария.

Глобальное потепление стало проявляться в самых разных природных процессах, в частности, сроки образования и разрушения ледникового щита на реках, важные показатели климата переходных сезонов года. В большинстве рек России статистически значимо смягчение ледового режима, то есть сроки появления льда становятся позже, а сроки вскрытия-раньше. Наибольшая линейная тенденция времени появления льда от 11 до 20 дней / 100 лет

отмечена на Немане, Днепре, Дону и Нижней Волге. На реках бассейна Оки и Камы это было 5-10 дней / 100 лет. Эти изменения в области льда происходят под влиянием региональных изменений климата.

В последние десятилетия произошли значительные изменения в агроклиматических условиях: увеличение количества осадков в европейской части РФ, повсеместное увеличение теплых зимних моделей. Влагозапасы метрового слоя почвы в июле (1970 - 1990) из-за увеличения осадков теплого периода года и снижения испарения увеличилась в среднем на 26%. Однако изменение температурных полей и осадков носит сложный характер.

По словам Раньковой Э.Я., в России в XX веке во все времена года наблюдалось повышение температуры, по интенсивности превышающее оценки для Земли и Северного полушария в целом. В прошлое 50-летие тенденция снизилась до теплого периода, но значительно усилилась до холодного. В России в XX веке интенсивность засушливости росла во все времена года, но в большей степени-в холодный период.

Интенсивность потепления к 100-летию (1901-2000) составляла в среднем по территории России $0,9^{\circ}\text{C} / 100 \text{ лет}$. Максимальное потепление отмечалось в 1995 году. Самой интенсивной тенденцией-в Прибайкалье-Забайкалье($3,5^{\circ}\text{C} / 100 \text{ лет}$). Для России в целом потепление более выражено зимой и весной (тенденция была соответственно $4,7^{\circ}\text{C} / 100 \text{ лет}$ и $2,9^{\circ}\text{C} / 100 \text{ лет}$). На территории России наблюдается значительная пространственная неоднородность изменения климата.

За последние 50 лет наблюдалась тенденция снижения годовых и сезонных осадков в целом для России и ее восточных регионов. Для европейской территории страны наблюдается слабая тенденция к увеличению количества осадков.

Климатические модели предсказывают увеличение среднего количества осадков с увеличением концентрации CO_2 (10-30% с удвоением концентрации CO_2).

В последние годы большое внимание уделялось моделям будущего изменения климата, используя глобальные интегрированные модели общей циркуляции атмосферы и океана. Анализ экспертами этих результатов привел их к выводу, что среднее глобальное повышение температуры воздуха у поверхности Земли с 1990 по 2100 год может быть примерно в два-десять раз выше среднего размера потепления, наблюдаемого в двадцатом веке, и ожидаемый уровень потепления может быть самым высоким за последние 10 тысяч лет.

Согласно теоретическим идеям, потепление климата должно сопровождаться увеличением влажности атмосферного воздуха, а также количеством атмосферных осадков. Расчеты коэффициентов корреляции между среднемесячными значениями сумм осадков, относительной влажности и температуры на улице показали, что в течение нескольких месяцев связи между температурой и осадками оказались значительными. Так, для периода 1901 - 1930 в августе коэффициент корреляции был -0, 67. Коэффициент корреляции между среднемесячными значениями относительной влажности и температуры. Например, для периода 1961-2003 в январе $r=0, 70$. Важно отметить, что в период с 1961 по 2003 год, когда преобладали теплые зимы, коэффициент корреляции имел высокие положительные значения.

Естественно, возникает вопрос: каковы причины современного глобального потепления и чего ожидать в будущем? Точного ответа на этот вопрос сейчас не существует. В настоящее время широко обсуждаются две версии объяснения происходящего потепления – антропогенная (повышение температуры за счет быстрого увеличения концентрации парниковых газов – парниковый эффект) и естественная.

Первую позицию занимает МГЭИК, которая подготовила отчет по этой теме. К последней ратификации Киотского протокола Россия, по сути, официально признала эту версию.

По другой версии (конкурирующей), глобальное потепление, произошедшее с конца малого ледникового периода, в основном объясняется

действием природных факторов. Сторонники этой концепции указывают на то, что самый интенсивный период глобального повышения температуры (90-е годы) приходится на растущую ветвь 60-летних колебаний, определяемых ими по метрикам, характеризующим тепловое состояние и циркуляцию атмосферы. Предполагается, что нынешние климатические колебания являются результатом нелинейных реакций климатической системы (КС) на квазипериодические внешние эффекты (чандлеровские биения полюсов Земли, лунные приливы и солнечная активность, циклы обращения крупнейших планет Солнечной системы вокруг общего центра и т. д.).

Такая неопределенность объясняется необычайной сложностью КС с его многочисленными связями между компонентами и нелинейной динамикой, дефицитом информации о ее состоянии.

В последние годы большое внимание стало уделяться природным и социально-экономическим последствиям глобального и регионального изменения климата. Антропогенное влияние на землю, океаны, пляжи и атмосферный воздух, а также биоразнообразие, круговорот воды и биогеохимические циклы, выходящие за пределы естественной изменчивости, ясно прослеживаются. По словам Осипова В.И., изменение температуры воздуха вызывает развитие ряда процессов в геосферных оболочках земли, способных влиять как на природную среду, так и на неблагоприятность. С последним снижается безопасность компании и растет ущерб от стихийных бедствий. Например, в 1995-1999 году ежегодные крупные стихийные бедствия относятся к 1965-1969. Только в Азиатско-Тихоокеанском регионе за последние 30 лет погибло почти 1,4 млн. Огромный ущерб нанесен США, Мексике, Кубе и другим странам от тропических ураганов, разыгравшихся осенью 2005 года.

По данным Международной группы экспертов по изучению изменения климата (МГЭИК), температура воздуха у поверхности земли выросла в двадцатом веке примерно на $0,6^{\circ}\text{C}$. При этом наиболее интенсивное потепление проявляется в России (особенно в Сибири) и Аляске зимой. Так, в Сибири во второй половине XX века наблюдался температурный тренд $0,4^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. Это

привело к числу немаловажным результатам-уменьшился период нагрева и увеличилась продолжительность вегетационного сезона. С потеплением последних десятилетий увеличилось число экстремально теплых дней, дней с проливными дождями и сильными ветрами, сокращая крайние холодные дни. Именно климатический экстремизм создает предпосылки для возникновения чрезвычайных ситуаций. В статье Правденцева Ю.П., Верещагина М. А. и др. рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости температуры воздуха на территории Северного полушария (СП) и влияние глобального потепления климата в разных регионах Северного полушария может быть оценено вплоть до уровня изобарной поверхности 10 гПа. В частности, отмечалось, что в приатлантической Арктике к северо-западу от Гренландии в 1958-2003 гг. Наблюдалось сильное охлаждение, а в северо - восточной Гренландии, напротив, - потепление, которое объясняется характером потока (углубление исландского минимума), выявило положительную тенденцию температуры над северо-западом Северной Америки.

В этой статье основное внимание уделяется изучению нестабильного климата в регионах Северного полушария (СП), где создаются потенциальные предпосылки для возникновения различных стихийных бедствий. Таким образом, в 1990-1994 годах среднегодовое число бедствий выросло по сравнению с 1965-1969 почти в 3 раза. Для этого мы рассматриваем температурные аномалии разной интенсивности.

Исходным материалом были ежедневные данные повторного анализа температуры воздуха в узлах нормальной географической сетки за последние 58 лет (1948-2005). При этом следует иметь в виду, что данные реанализа первых 10 лет менее надежные, чем отнесенные к более позднему периоду 1958-2005 гг.

Для каждого месяца и года указанного периода аномалии температуры были определены как разница между фактической температурой и нормой климата (в среднем 1948-2005 гг.), величиной ССО (σ). При этом выделялись

большие ($\Delta T_i \geq \sigma$) и очень большие ($\Delta T_i \geq 2\sigma$) аномалии. Затем, с учетом данных, полученных в отдельных узлах, были рассчитаны площади, занятые аномалиями температурного поля того или иного знака, как на территории всего Северного полушария, так и на участках, составляющих его.

В качестве неотъемлемого свойства аномалий температурного поля используется параметр Багрова (K) и параметр Токарева (K_T), позволяющий оценить не только размер аномалии, но и ее знак:

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T_i}{\sigma_i} \right)^2 ; \quad (1.1)$$

$$K_T = \frac{1}{N+M} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{\Delta T_{+i}}{\sigma_i} \right)^2 - \sum_{i=1}^M \left(\frac{\Delta T_{-i}}{\sigma_i} \right)^2 \right], \quad (1.2)$$

где N – количество точек с положительной аномалией температуры T₊;

M – количество точек с отрицательной аномалией T₋

Как следует из (1.2), если области, занятые аномалиями одного знака, примерно равны, то параметр K_T не достигает больших значений. В случае, когда площадь, занятая аномалией одного знака, превышает 70%, этот параметр резко увеличивается.

При нормальном распределении случайной величины (в данном случае температуры T) выполняются соотношения:

$$P\{-\sigma < \Delta T < +\sigma\} = 0,683$$

$$P\{-2\sigma < \Delta T < +2\sigma\} = 0,954$$

$$P\{-3\sigma < \Delta T < +3\sigma\} = 0,997$$

где P – вероятность события.

В этом случае вероятность непревышения аномалии температуры ΔT пороговых значений. Таким образом, в 68% случаев абсолютное значение аномалии не превышает значения σ .

Параметр Багрова рассчитывается для среднегодовой температуры земли, для СП в целом, тропических и полярных умеренных зон, а также отдельно для территорий, занятых сушей и океаном, составляющих СП и перечисленных зон, за период 1948-2005 гг.

Серия значений K , составленная для всей территории северного полушария, датируется 7 годами (над океаном и сушей), где $K > 1,5$. Особенно заметно в 1998 году, когда над океаном $k = 2,7$, землей $k = 1,95$ и над СП в целом $k = 2,4$. Особенно резкие колебания параметра K происходят в полярной области, причем K превышает значение 1,5 в 13 случаях (над океаном и сушей). При этом в 1963, 1980, 2003 $K > 3,0$. Самые большие значения отмечены над поверхностью воды. В умеренных широтах $K > 1,5$ регистрировался в 9 случаях, наибольшие значения наблюдались над сушей в 1968 и 1972 годах ($K = 2,45$). В тропиках $K > 1,5$ в 10 случаях, когда крайности 1998 года выражены, когда над океаном $k = 3,35$, второе по величине значение отмечено в 1974 году ($k = 2,23$).

Зная среднее значение параметра аномалий K для каждой из четырех рассматриваемых серий и значений СКО, можно выделить большие и очень большие (крайние) аномалии.

Кроме того, непревзойденным экстремумом является значение K в 1998 году, записанное над океаническими водами тропиков. Полярная область характеризуется высоким уровнем возмущенности. Отметим, что индекс Багрова часто используется для оценки степени аномалий температурных полей. В частности, в работе по критерию больших аномалий температурного поля на территории Монголии берется значение $k \geq 1,3$, крайнее $k_2 \geq 2,1$. Следует отметить, что крайняя аномалия встречается только от 7 до 13%.

Поля аномалий температуры воздуха на земле (ПТВ) были рассчитаны, как указано, для всей территории СП, а также отдельно для суши и океана.

Площадь области (%), занятой аномалиями различных признаков за весь рассматриваемый период, была рассчитана.

Полученные линии подвергались фильтрации, а низкочастотные компоненты с периодами более 25 лет выделялись.

С целью получения однородной сопоставимой картины аномалии нормировались на величину среднего квадратического отклонения – СКО (σ). Заметим, что величина СКО характеризует межгодовую изменчивость, служит характеристикой неустойчивости и представляет самостоятельный интерес.

Рассмотрим также распределение величины СКО температуры воздуха вблизи поверхности Земли, рассчитанное на узлах обычной сетки СП за январь, июль и вообще за год в период 1948-2005 годов.

Наиболее сложная картина января создается в полярной широтной зоне, где в проценте, расположенном к юго-западу от Гренландии, значения σ достигают 7°C , а к востоку от острова -6°C . Кроме того, этот арктический регион простирается с запада от берегов Гренландии на восток до Северной Земли. Остальные очаги в полярной области менее обширны, и σ в них варьируется от 2 до 5°C .

В умеренной зоне СКО колеблется от 1 до 3° , а экстремальные значения наблюдаются в западной части Северной Америки от 50° до 60° северной широты в районе Скалистых гор, на восточном побережье Северной Америки, в Восточной Евразии. В тропиках, в водах Атлантики и Тихого океана значения σ не так велики ($1-2^{\circ}$). Только в пустыне Сахара наблюдается небольшой фокус с $\sigma = 2^{\circ}\text{C}$.

В июле картина значительно упрощается. Наибольший интерес представляет полярная область ($60-90^{\circ}$ с.ш.). Таким образом, интенсивный очаг σ , расположенный в январе к востоку от Гренландии, в июле уже не прослеживается, здесь $\sigma = 0,8^{\circ}$. Наибольшие значения σ обозначены на границе поверхности воды и суши. Например, вдоль всего евразийского побережья Арктики установлена довольно узкая полоса увеличенных значений σ (разница от $0,4$ над уровнем моря Северного Ледовитого океана 2° над материком). В

западной части Северного полушария в регионе Канады картина более сложная, здесь в огромном очаге σ достигает $2,8^\circ$. Контрасты в поле σ усиливаются при переходе с суши на море.

Естественно, пространственное распределение σ , рассчитанное по среднегодовым значениям температуры, более сглажено. Отдельные очаги выделяются на общем размытом фоне, где σ достигает $2,2^\circ$ (Восточнее Гренландии). Особенно умеренных и тропических широтах (особенно в водах океанов) значения σ малы ($0,4-1,2^\circ$).

Выделенные очаги σ позволяют охарактеризовать состояние неустойчивости температурного поля во времени в течение рассматриваемого периода.

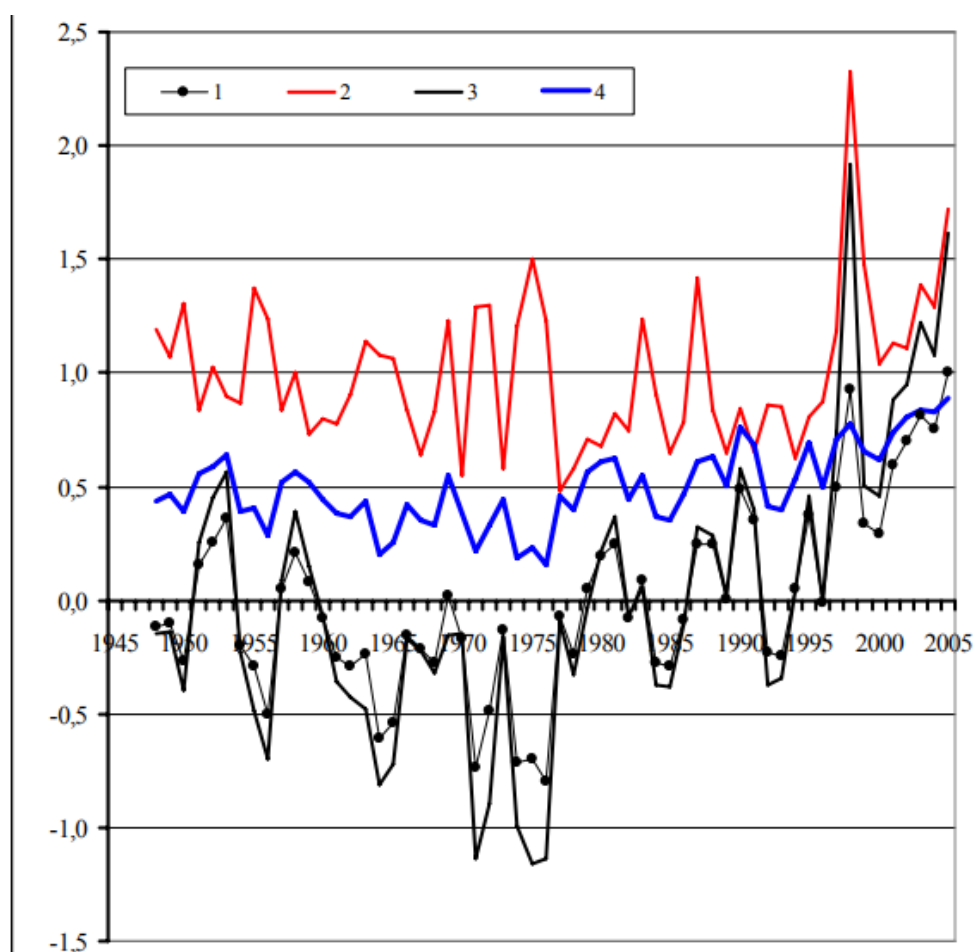


Рисунок 1.1. Многолетний ход средней нормированной аномалии (1), индексов аномальности Багрова (2), Токарева (3) и доли площади, занятой положительной аномалией (4) температуры воздуха Северного полушария [1]

Среди климатических экстремальных периодов особое место занимает 1997-1998 гг. – период кульминации теплой фазы явления ЭНЮК (Южное колебание-Эль-Ниньо). Влияние этого приобрело глобальный характер, изменив климатические условия в разных регионах мира, поражая одних ужасной засухой (Индонезия, Австралия), других из-за серии тропических циклонов-ливней и наводнений (Колумбия, Эквадор, Перу).

На построенном графике временного хода ряда характеристик для СП в целом и его регионов резко выделяются показатели 1998 года, который был самым жарким за последние 146 лет (1860-2005). В Работе также наблюдается, что важный вклад в потепление внес особенно интенсивный феномен Эль-Ниньо, который существовал в первой половине года и сопровождался беспрецедентным повышением температуры океана в западных и центральных районах Индийского океана. По сравнению со средним значением температуры воздуха на Земле за период 1961-1990 годов, рекомендованным ВМО в качестве основы для расчета климатической нормы, среднегодовой ПТВ за 1998 год был на 0, 57C° выше. Также следует отметить, что во второй половине XX века наблюдались относительно частые эпизоды интенсивной горячей фазы феномена Эль-Ниньо.

В 2005 году индекс аномалий Токарева достиг крайнего значения 1,9 для всего северного полушария; среднее значение по северному полушарию нормализованной аномалии среднегодовой температуры было 0,93; регион с положительной аномалией достиг 78%. В тропиках (0-30° с.ш.) значение нормированной аномалии ПТВ достигло 1,2; индекс Токарева-2,65; площадь, занятая положительной аномалией температуры, составила 80% от общей площади тропиков.

В умеренной зоне (30-65° с.ш.), эти показатели соответственно-0,68, 1,19 и 78%. В Полярной зоне (65-90° с. ш.) – 0,55; 1,3; 77%. Полярная область, как и следовало ожидать, была в наименьшей степени затронута ЭНЮК. Вдобавок, в 2005 году резко выросла площадь, занимаемая очень большой положительной

аномалией температуры (20% всей поверхности океана СП), а на 2 - м месте-1975 г., с очень большой, но уже отрицательной температурной аномалией (14%).

В 1998 году площадь океана СП, занятая положительной аномалией температуры, составляла 81, отрицательная аномалия - всего 19%; доля крупных положительных аномалий составляла 48% площади, а доля крупных отрицательных аномалий-3-4%. Очень большая положительная аномалия занимает 20% площади. Индекс Токарева был 1,7 над океаном. Исходя из этого, явление Эль-Ниньо проявилось в наибольшей степени над океаном.

Для поверхности земли: площадь, занятая положительной аномалией в 1998 году, составляла 80% (отрицательная-20%), большая положительная аномалия-43% (отрицательная-2%), очень большая положительная аномалия-14% (отрицательная-0%), индекс Токарева 1.4.

Для всего Северного полушария: площадь с положительной аномалией равна 75% (отрицательная – 25%); большая положительная – 45% (большая отрицательная – 5%); очень большая положительная аномалия – 17 % (отрицательная-0%); индекс Токарева 1,55. В течение всего периода с 1948 по 2005 по 1984 год область, занятая отрицательными аномалиями s– контролируемой температуры на поверхности с положительными аномалиями s+ температуры. После 1984 года все наоборот. В то же время в 1964, 1972, 1976 годах. Значение s + достигло максимума и было равно 80%; в 2005 году площадь s + достигла отметки 90% от общей площади СП. Однако наряду с долгосрочной тенденцией к повышению частоты s+, которую можно отчетливо отнести к низкочастотному компоненту (NC), существует значительная межгодовая разница. Судя по NC, в 2005 году 70% занимали S +, а 30% составляли S -. Естественно, что доля территории, занятой большими и очень большими аномалиями, меньше. С 1986 года регион с большим положительным, а с 1989 года. С очень большими положительными аномалиями началось увеличение территорий, занятых соответственно очень большими отрицательными аномалиями PTV. Отметим только, что в 2005 году

S+ для больших аномалий достиг 54, а s + для очень больших аномалий-10%. В 1998 году наблюдалось резкое увеличение экстремальной аномалии S + =17% (Этот рекорд оказался непобедимым).

Значения Индекса Токарева (на низкочастотном компоненте) до 1987 года были в отрицательной области. На кривой этого индекса также выделяется 1988 год, когда КТ был равен 1,55.

Анализ вышеуказанных свойств для земной и океанической поверхности СП выявил значительные различия. Над океаном переход к доминированию положительных аномалий произошел на несколько лет (~5) раньше, чем над сушей. Доля территорий, занятых положительными аномалиями разной интенсивности, выше над океаном, чем над сушей. Резко выделяется в 1998 году, когда S + над океаном для очень большой аномалии достиг 20% (над землей 14%). Интегральный индекс Токарева на суше был в 2005 году 1,35, а над океаном-2,0.

Отмечу, что в работе при анализе температурных тенденций выявлен характер разнонаправленных климатических изменений на континентах и океанах. Анализ поведения температурных аномалий разной величины подтверждает различие процессов на поверхности океана и на суше. Причем процессы разнонаправленного характера наблюдаются не только на водах Тихого и Атлантического океанов, но и в отдельных секторах этих океанов.

Внимание привлекает сходство январских тенденций, построенных для полярных и тропических широт. Степанов В.Н. отмечает, что в умеренных широтах преобладает циклоническая активность, а в более однородных и стабильных тепловых полях тропических и полярных зон создаются благоприятные условия для антициклонических систем.

Действительно, в умеренной зоне тренд криволинейный, а в соседних областях почти прямолинейный. Так, по среднегодовым значениям с 1948 по 2005 год нормированная аномалия температуры в тропиках колеблется от 0,35 до 0,75; индекс Токарева-от 0,4 до 1,3; S+-от 32 до 86%. В умеренной зоне от точки перегиба в 1975 году, где S + составлял 35%, в 2005 году-73%. В

полярной области S+ увеличивается с 34% в 1970 году до 90% в 2005 году (изогнутая тенденция почти идентична прямой).

Чтобы получить более полную и связанную картину изменчивости метеорологических полей с течением времени, используя ежедневные данные NCEP-NCAR для повторного анализа температуры воздуха на земле, общего количества облаков и региональной скорости ветра на изобарической поверхности 500 гПа за последние 58 лет (1948-2005 гг.) Их для площади СП в целом, ее широтных зон и трех естественно синоптических секторов в умеренной зоне. 25 лет, были выявлены тенденции в изменениях температуры наземного воздуха, общих облаков и региональной скорости ветра в указанный период, и корреляционный анализ позволил оценить тесную связь между этими величинами.

Анализ полученных результатов показывает, что перечисленные климатические характеристики ведут себя довольно независимо. Таким образом, квадратичный тренд к средней температуре воздуха в СП достигает пика в первой половине 70-х годов, а затем наблюдается восходящая ветвь. Временной ход общей облачности, также усредненный по всему СП, лучше приближается к линейному тренду. Исходя из этого, повышение температуры происходит на фоне снижения общего количества облачности (на 3-4 %). Коэффициент наклона линейного тренда для региональной скорости ветра в январе близок к нулю, в июле наблюдается небольшое снижение интенсивности регионального цикла. Подобные тенденции наблюдаются и в широтах: полярных, умеренных и тропических.

Нормированные аномалии температуры воздуха, общее количество облачности и региональная скорость ветра в средней тропосфере указывают на неоднородный характер крупномасштабных процессов. Общее количество облаков уменьшается повсюду, и только за последнее десятилетие он немного вырос. Ход НЧК нормированной аномалии региональной скорости ветра имеет явно выраженный экстремум, падающий в середине 80-х. Было обнаружено существенное различие в поведении тенденций характеристик исследования в

трех широтах, трех секторах умеренной зоны, Атлантике и Тихом океане, зимних и летних месяцах. Так, в Атлантике в 1 ЕСР умеренных широтах (восточная часть) происходит потепление, а в западной ее части-холод, как и в западной части Тихого океана.

2 ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ИССЛЕДОВАНИИ

Были проведены исследования по региональным проявлениям климатических изменений в разных точках (городах) Европы. Анализировались проявления изменения климата в следующих характеристиках:

количество приходящей солнечной радиации (QQ), Вт/м²,

продолжительность солнечного дня (SS), ч.

среднесуточная температура воздуха (TG), °C.

Данные получены из архива Европейской ассоциации по изучению климата European Climate Assessment&Datasetproject (ECA&D). На данном сайте выложена информация о метеорологических величинах, которые позволяют оценить происходящие изменения климата, в том числе и его экстремальность. Представленная на сайте информация это ежедневные данные о величинах важных для мониторинга и анализа изменения климата. Проект ECA&D был начат в 1998 году при финансовой поддержке EURONET - содружество 31 Европейских национальных метеорологических центров.

Местоположение точек, данные в которых использовались в исследовании, представлены на рисунке 2.1 и в таблице 2.1.



Рисунок 2.1 – Местоположение точек, данные которых использованы в исследовании

Таблица 2.1 – Координаты точек, данные которых используются в исследовании

Номер станции	Название	Широта	Долгота
64	Будапешт, Венгрия	47°31' с.ш.	19°05' в.д.
240	Женева, Швейцария	46°12' с.ш.	6°08' в.д.
263	Белград, Сербия	44°49' с.ш.	20°28' в.д.
483	Дрезден, Германия	51°02' с.ш.	13°44' в.д.
16	Вена, Австрия	48°13' с.ш.	16°22' в.д.
228	Любляна, Словения	46°03' с.ш.	14°30' в.д.
123	Валенсия, Ирландия	51°54' с.ш.	10°21' з.д.

28	Хоэнпайсенберг, Германия	47°48' с.ш.	11°00' в.д.
36	Перьпиньон, Франция	42°41' с.ш.	2°53' в.д.
230	Мадрид, Испания	40°24' с.ш.	3°42' з.д.
417	Гранада, Испания	37°10' с.ш.	3°36' з.д.
2923	Нови-Сад, Сербия	45°15' с.ш.	19°50' в.д.
335	Барселона, Испания	41°23' с.ш.	2°9' в.д.
13	Инсбрук, Австрия	47°15' с.ш.	11°23' в.д.
4882	Брауншвейг, Германия	52°16' с.ш.	10°31' в.д.
851	Сегед, Венгрия	46°15' с.ш.	20°10' в.д.
237	Валенсия, Испания	39°28' с.ш.	0°22' з.д.
160	Ден-Хелдер	52°57' с.ш.	4°45' в.д.
166	Влиссенген, Нидерланды	51°27' с.ш.	3°35' в.д.
21	Загреб, Хорватия	45°48' с.ш.	15°58' в.д.

2.1 Исследование годовой температуры воздуха

Было исследовано изменение среднегодовой температуры воздуха на всех рассматриваемых станциях за период с 1950 по 2020 гг.

Рассматривалась среднегодовая температура воздуха, а также экстремальные (минимальная и максимальная) значения температуры воздуха за год.

2.1.1 Среднегодовая температуры воздуха

Среднегодовая температура воздуха увеличивается на всех рассмотренных станциях.

На рисунках 2.2 и 2.3 представлен временной ход среднегодовой температуры в Любляна и Валентия, который иллюстрирует два крайних случая – в Любляна наблюдается самое значительное повышение температуры

воздуха, а в Валентии самое небольшое. При этом отличия не очень сильные. В Любляна, согласно линии линейного тренда среднегодовая температуры воздуха повысилась от 9°C до 12°C , а в Валентии – от 10.3°C до 11.3°C . На обеих станциях можно отметить одинаковую закономерность – около 1987 года произошла смена режима. Если в Любляна до 1987 года значения среднегодовой температуры воздуха находились в интервале от 8.6°C (минимальное значение в 1956 году) до 10.6°C (максимальное значение, 1951 год), то в последние 30 лет минимальное значение среднегодовой температуры воздуха равно 9.8°C , а максимальное – 12.7°C и эти значения всё время возрастают. В Валентии наблюдается аналогичная ситуация только с меньшим разбросом значений.

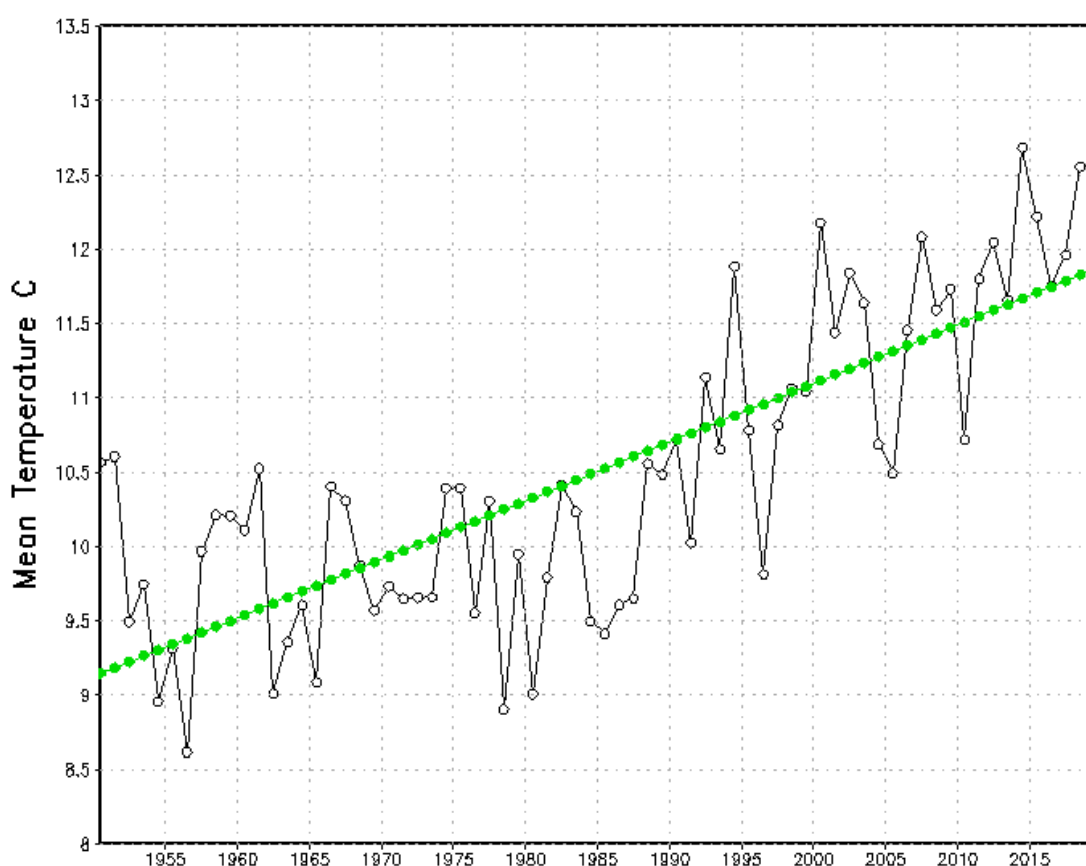


Рисунок 2.2 – Временной ход среднегодовой температуры воздуха в Любляна

На остальных станциях не наблюдается такого резкого слома в середине 80-х годов 20 века, но присутствует постоянный рост значений среднегодовой температуры воздуха. Для иллюстрации на рисунке 2.4 представлен временной ход среднегодовой температуры воздуха в Дрездене.

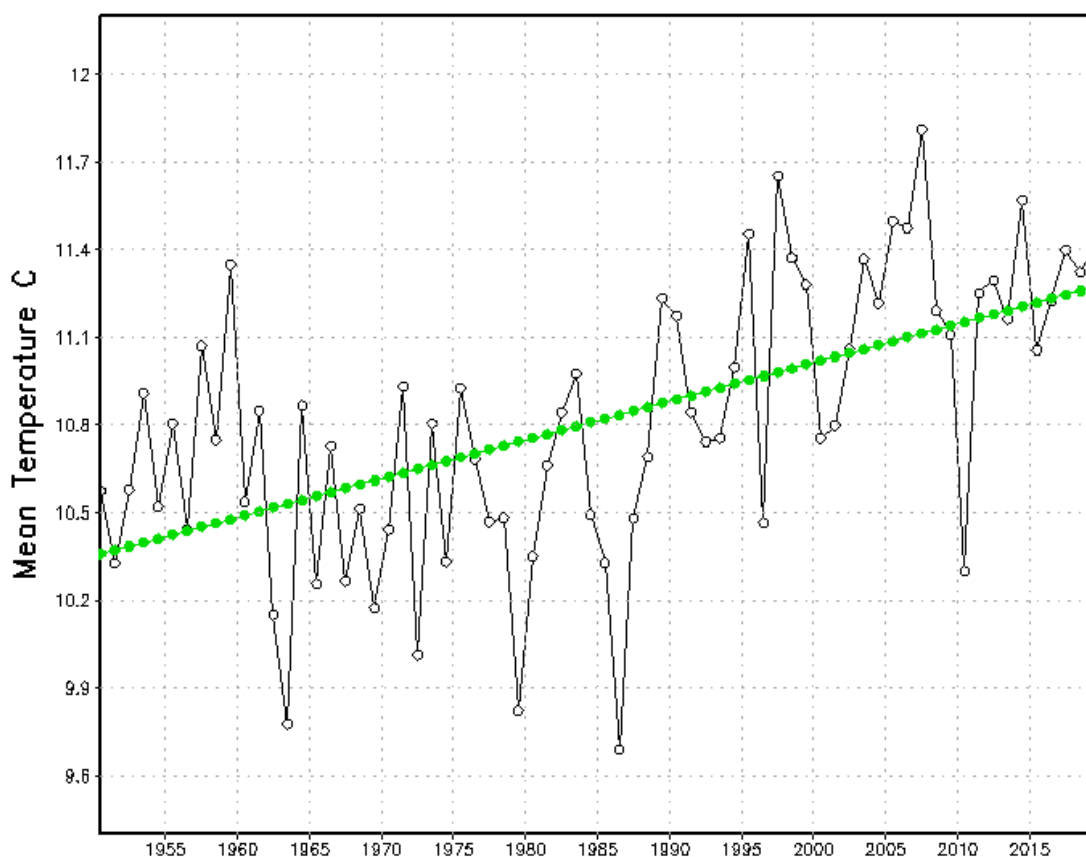


Рисунок 2.3 – Временной ход среднегодовой температуры воздуха в Валентия

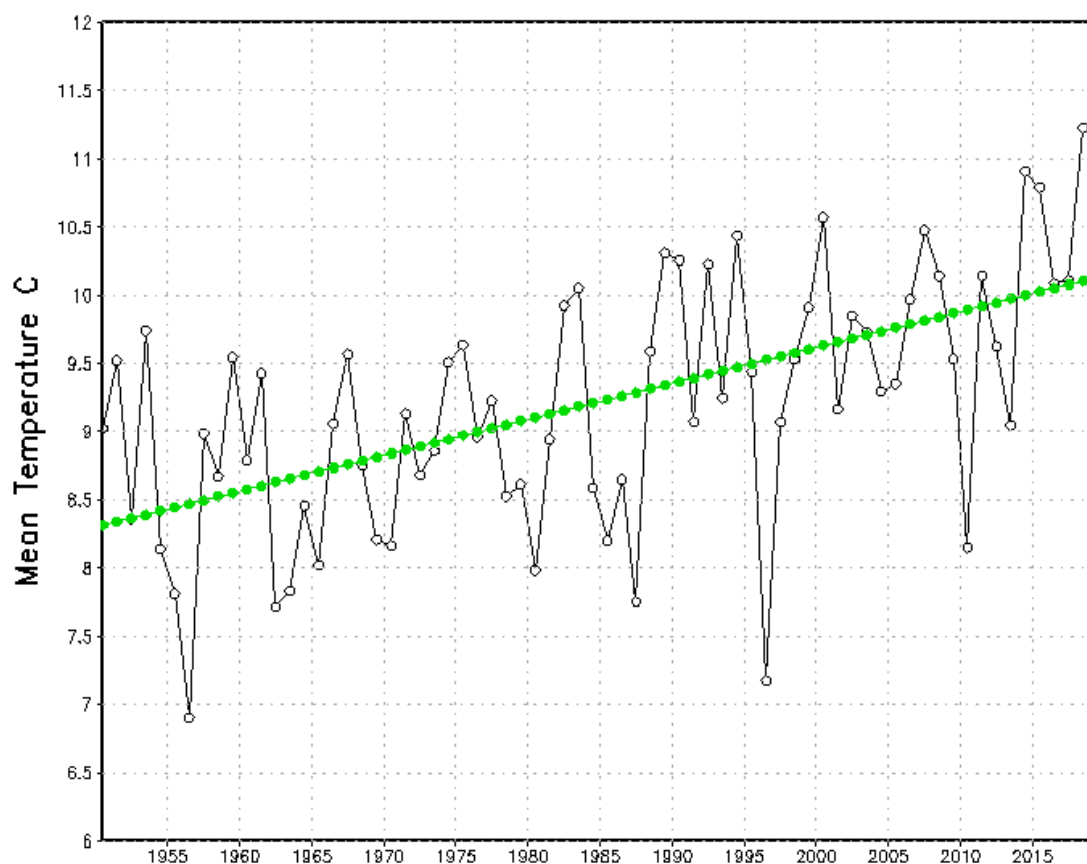


Рисунок 2.4 – Временной ход среднегодовой температуры воздуха в Дрездене

На рисунке 2.5 представлено пространственное распределения коэффициента линейного тренда среднегодовой температуры воздуха. Линейный тренд рассчитан для периода 70 лет и имеет размерность $^{\circ}\text{C}/70$ лет. Минимальный коэффициент линейного тренда в Валентии составляет 0.01 $^{\circ}\text{C}/70$ лет, а максимальный в Любляне – 0.04 $^{\circ}\text{C}/70$ лет. Во всех остальных точках исследований коэффициент линейного тренда лежит в пределах 0.02 - 0.03 $^{\circ}\text{C}/70$ лет и очень хорошо видна неоднородность изменения среднегодовой температуры воздуха в рассматриваемом регионе.

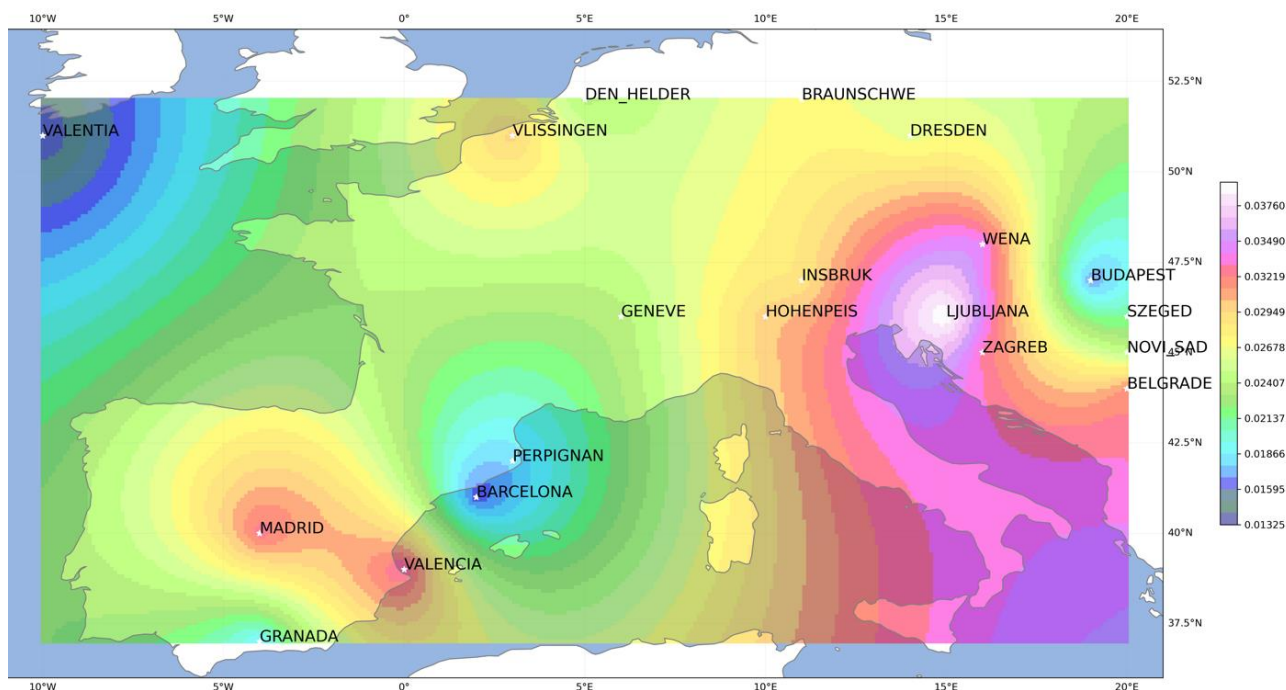


Рисунок 2.5 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда среднегодовой температуры воздуха

2.1.2 Минимальная годовая температура воздуха

Минимальная годовая температура воздуха определялась, как самое низкое значения среднесуточной температуры за все рассмотренные года наблюдений.

Выделяется два пункта – Инсбрук и Барселона – с максимальными изменениями минимальной за год температуры воздуха. В Инсбруке можно заметить очень сильный рост минимальной температуры, что проиллюстрировано на рисунке 2.6. Анализ временного хода минимальной температуры воздуха согласован с временным ходом среднегодовой температуры – нет резкого скачка в середине 80х годов 20 века, а есть постепенное возрастание значений температуры воздуха от -21°C в 1956 до -13°C в 2017. В некоторые годы минимальная температуры воздуха составляла только -5°C и такая ситуация наблюдается с первой половины 70х годов.

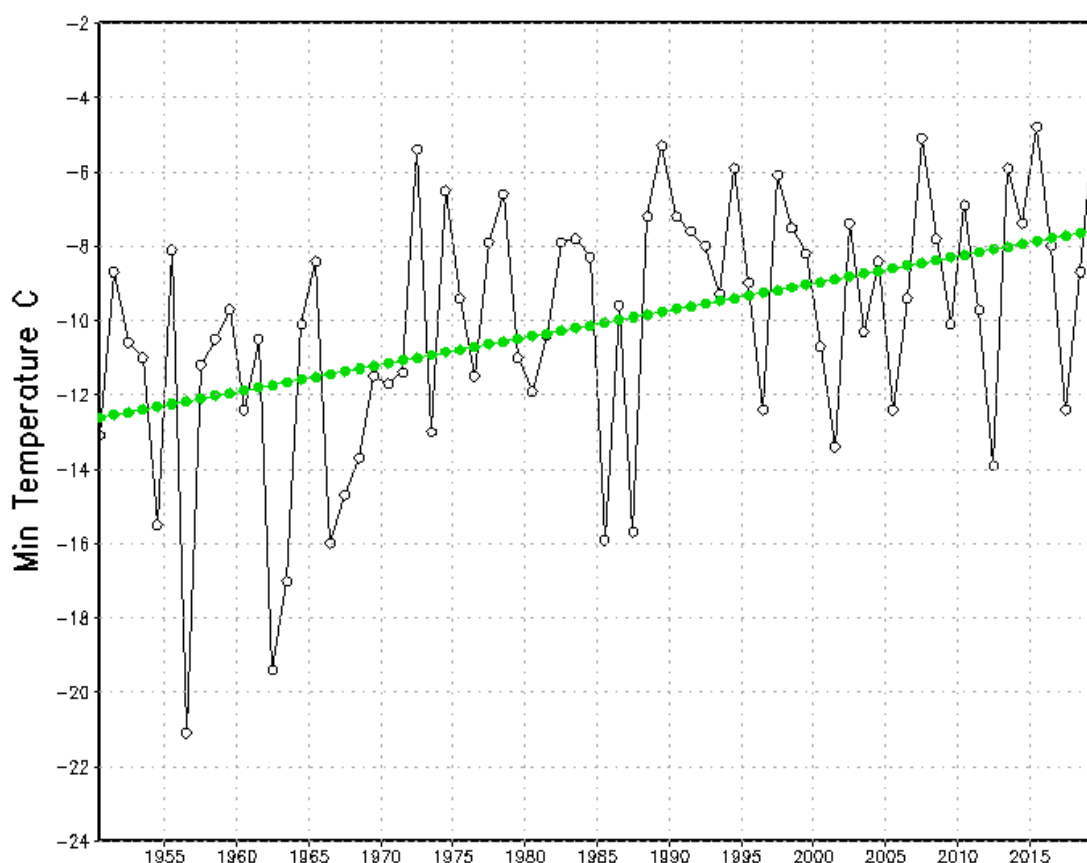


Рисунок 2.6 – Временной ход минимальной годовой температуры воздуха в Инсбруке

Несколько другая ситуация с минимальной годовой температурой воздуха в Барселоне (рисунок 2.7). Как видно из представленного графика за весь исследуемый период значения минимальной температуры воздуха не изменились.

Уникальная ситуация с изменением минимальной годовой температуры наблюдается в уже рассмотренной ранее Валентии. Из анализа графика временного хода, представленного на рисунке 2.8, видно, что после 1985 года сильно изменился разброс значений – от -3.5°C в 1987 году до $+4.5^{\circ}\text{C}$ в 2014.

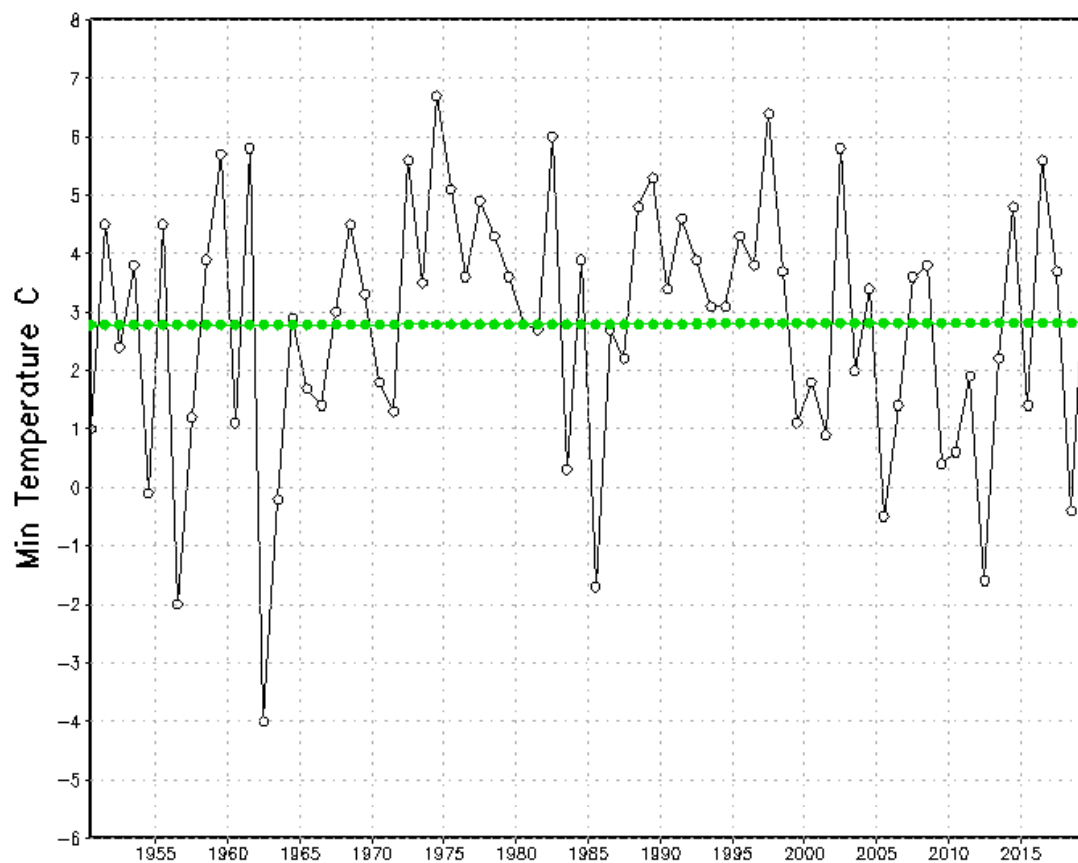


Рисунок 2.7 – Временной ход минимальной годовой температуры воздуха в Барселоне

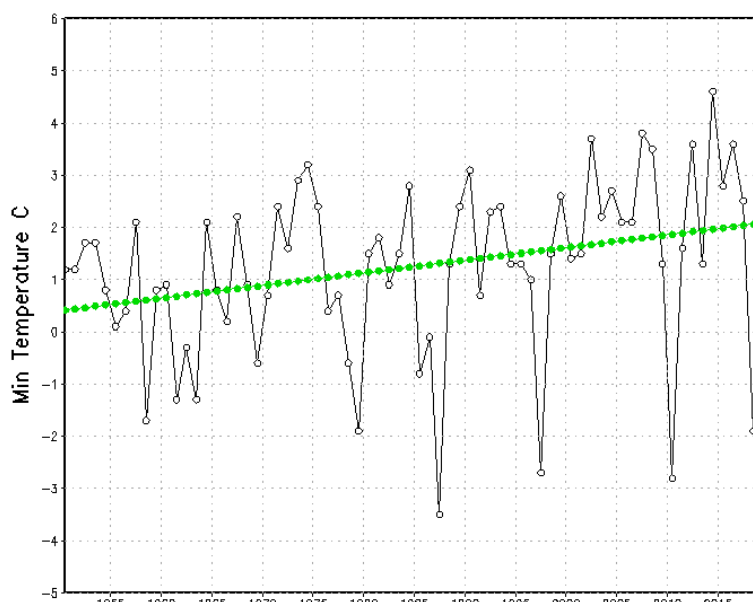


Рисунок 2.8 – Временной ход минимальной годовой температуры воздуха в Валенсии

Пространственное распределение коэффициента линейного тренда минимальной годовой температуры воздуха представлено на рисунке 2.9.

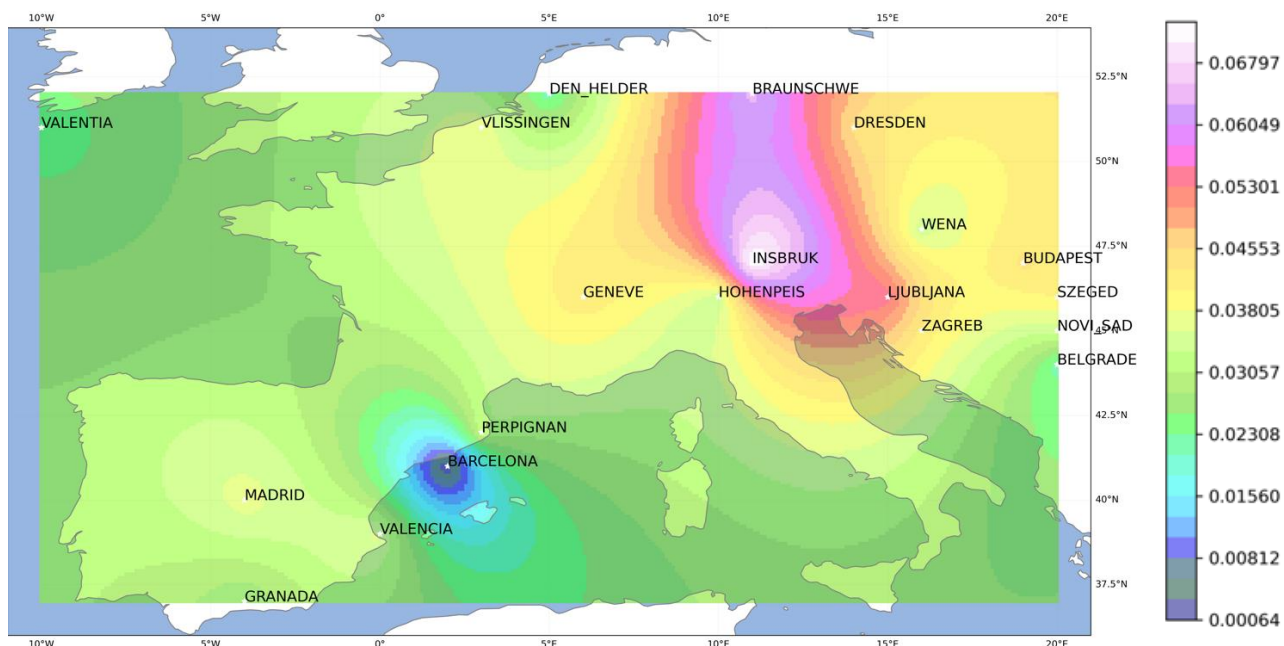


Рисунок 2.9 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда минимальной годовой температуры воздуха

Анализ линейного тренда минимальной годовой температуры воздуха позволяет говорить о том, что эта температура повсеместно изменяется (повышается), но повышается по разному. Самые значительные повышения наблюдается в горных регионах – Инсбрук (высота 577 м), Hohenpeissenberg (977)), а меньшие изменения в прибрежных городах (Валентия, Perpignan, Барселона).

2.1.3 Максимальная годовая температуры воздуха

Максимальная годовая температура воздуха это самая высокая среднесуточная температура воздуха наблюдавшаяся на станции. На всех станциях эта характеристика температуры воздуха повышается, но опять по-разному. В Инсбруке, Мадриде и Novi Sad виден перелом в середине 80х годов

(рисунок 2.10), а в остальных городах достаточно монотонный рост среднего значения максимальной температуры воздуха (рисунок 2.11).

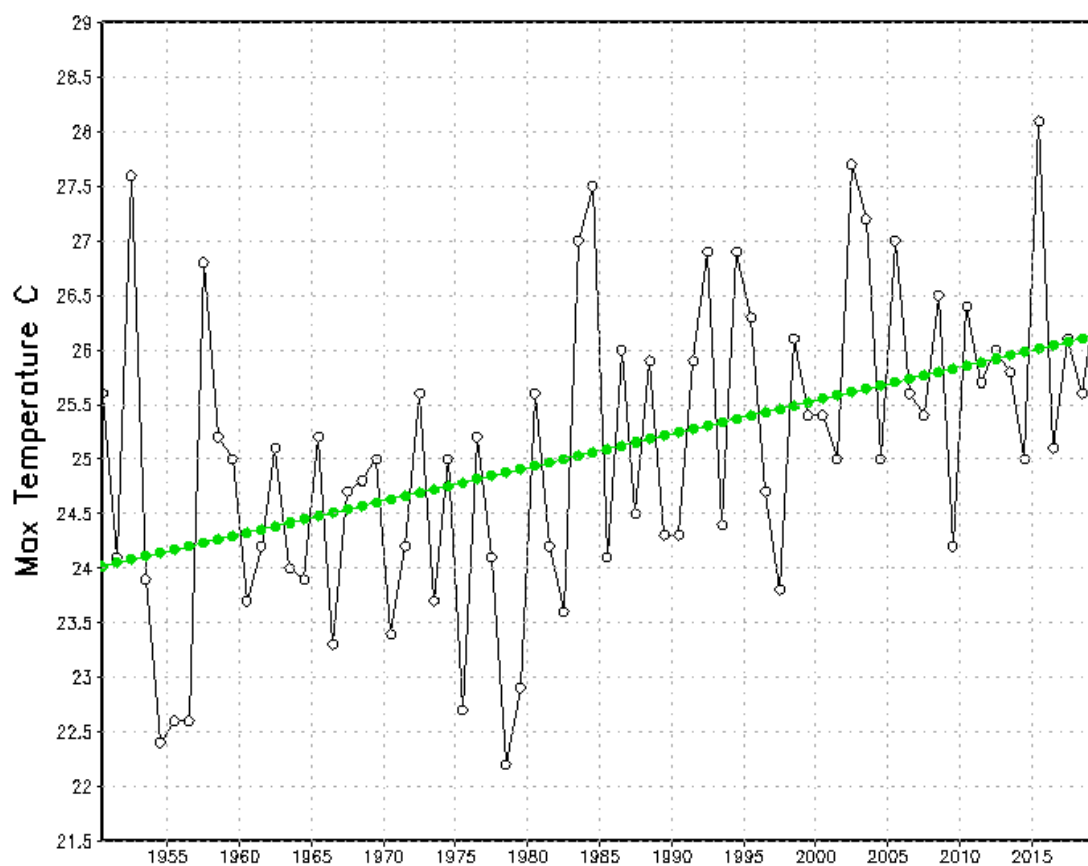


Рисунок 2.10 – Временной ход минимальной годовой температуры воздуха в Инсбруке

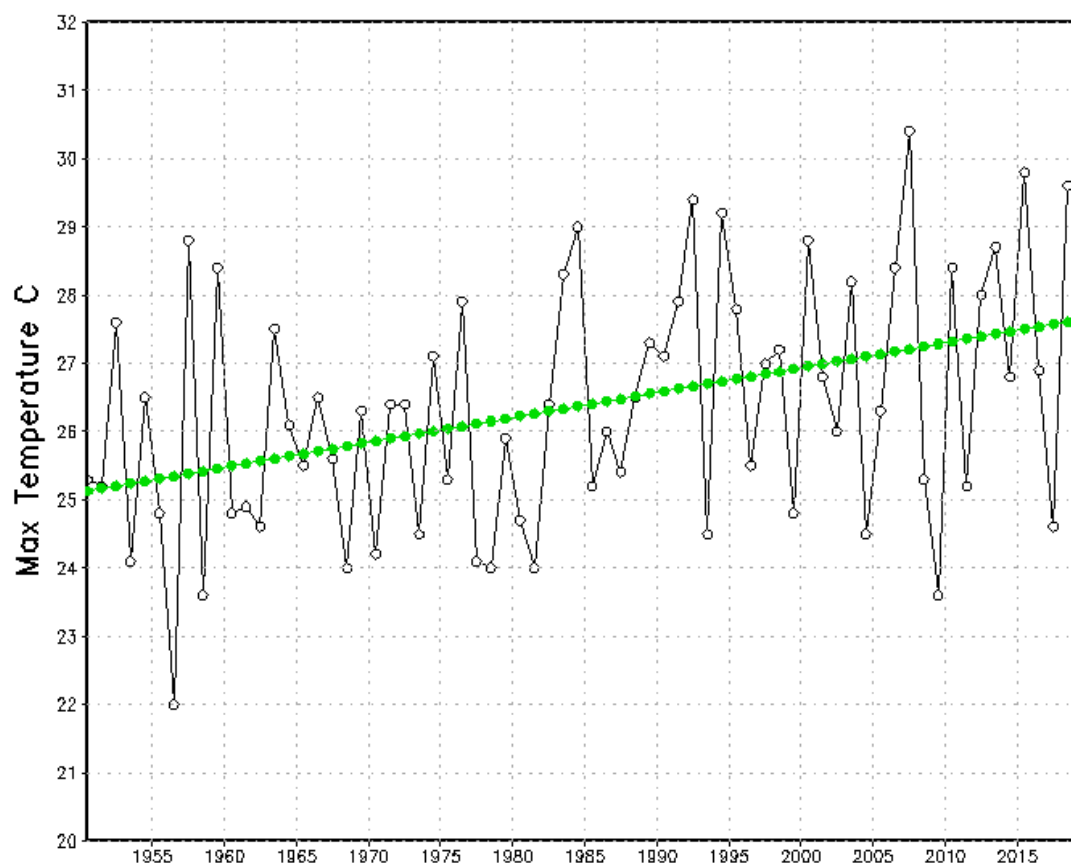


Рисунок 2.11 – Временной ход минимальной годовой температуры воздуха в Дрездене

На рисунке 2.12 представлено пространственное распределение линейного тренда максимальной температуры воздуха. Экстремум в Будапеште, показанный на рисунке 2.12 ложный. Этот вывод позволяет сделать более детальный анализ временного ряда максимальных годовых значений температуры воздуха, но минимальные значения коэффициента линейного тренда в близлежащих городах (Szeged, Novi Sad и Белград) позволяет говорить об общей тенденции в этом регионе.

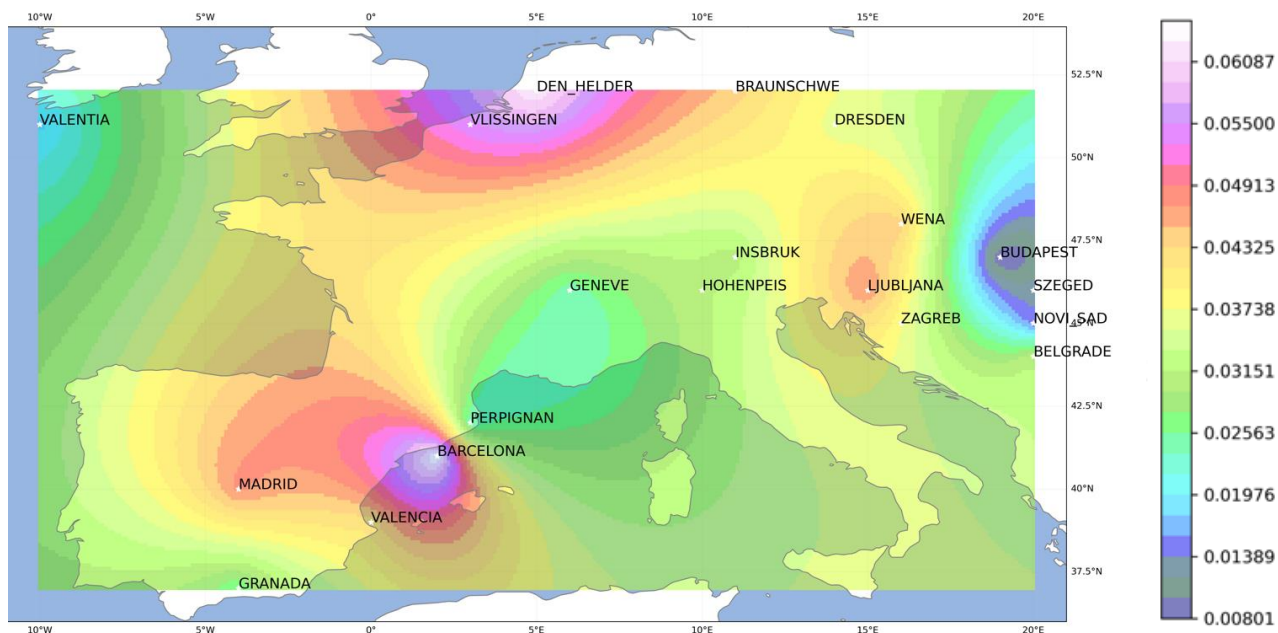


Рисунок 2.12 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда максимальной годовой температуры воздуха

2.2 Среднемесячная температура воздуха

Проанализируем среднемесячную температуру воздуха на различных станциях.

2.2.1 Перьпиньон

Временной ход среднемесячной температуры воздуха на станции за весь доступный период наблюдений с 1950 по 2020 года приведён на рисунке 2.13. По оси ординат на этих графиках отложены года от 1950 до 2020, а по оси абсцисс – среднемесячная температура воздуха в $^{\circ}\text{C}$. Один график представляет один месяц – месяцы меняются от строке к строке. Первая строка слева направо – январь, февраль, март и т.д.

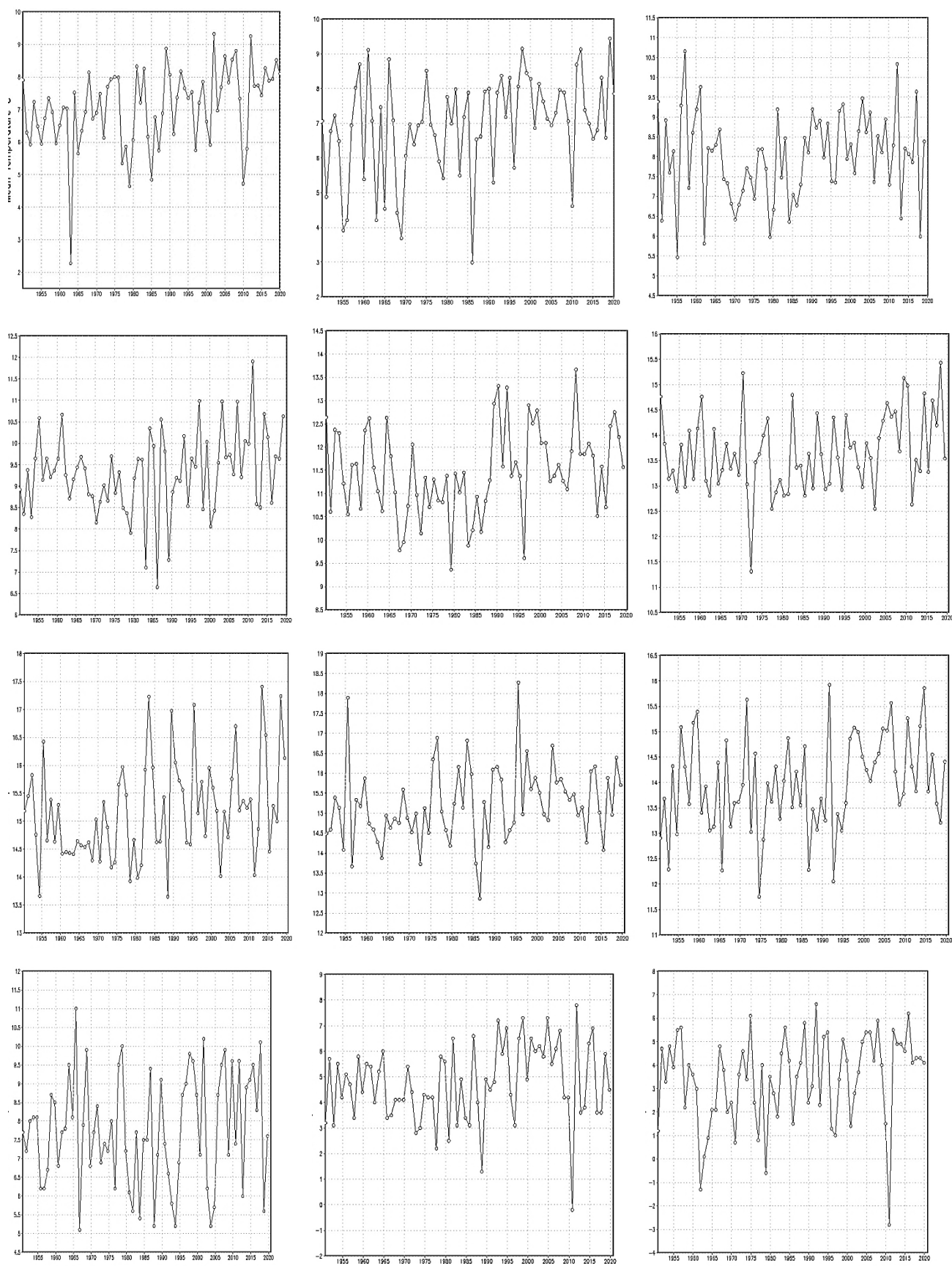


Рисунок 2.13 - Временной ход среднемесячной температуры воздуха в
Перьпиньоне

Поскольку целью исследования было выявление изменений в последние десятилетия, связанные с глобальным потеплением, то основное внимание уделяется сравнению периодов до и после 1980-х годов.

Анализ среднесуточной температуры для г. Перьпиньон позволяет сделать следующие выводы:

Январь: Максимальная температура в январе была зафиксирована в 1997 году и составила $13,3^{\circ}\text{C}$. Со временем, количество максимальных температур увеличилось, но незначительно. Самым холодным стал 1963 год – минимальная температура в этом году составила $0,2^{\circ}\text{C}$, а максимальная $4,8^{\circ}\text{C}$, поэтому средняя температура января в этом году составила $2,2^{\circ}\text{C}$. Самая минимальная температура за все время исследования была зафиксирована в 1987 году и составила $-3,5^{\circ}\text{C}$. Также, с 1990 года количество температур ниже $1,5^{\circ}\text{C}$ значительно сократилось. Из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что за последние годы температура выросла за счет увеличения небольшого количества максимальных температур и сокращения количества минимальных.

Февраль: С 1976 года выросло количество максимальных значений температур. Самым теплым февралем стал 2019 год – максимальная температура в этом году составила $13,8^{\circ}\text{C}$, а средняя $9,5^{\circ}\text{C}$. Самый минимум температур наблюдался в 1979 году и составил -2°C . Самый холодный год был в 1986 году – средняя температура в этом году была 3°C .

Март: Аномально высокая температура была в 1965 году – $15,8^{\circ}\text{C}$. Хотя до этого с 1950 по 2007 года температура не превышала 13°C . С 1981 максимальные температуры стали чаще наблюдаться. Максимальная температура в XXI веке была в 2005 и 2012 годах – $15,4^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура была зафиксирована в 2018 году – -2°C . Можно сделать вывод, что за последние годы температура в марте немного увеличилась за счет повышения количества высоких температур.

Апрель: С 1985 года значительно увеличилось число теплых дней. Средняя температура с 1950 года по 1985 составляла 9°C , а после увеличилась почти до 10°C . Максимум был зафиксирован в 1985 году и составил $18,2^{\circ}\text{C}$.

Также близкое значение было в 2003 году – $18,0^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура была в 1967 году – $2,6^{\circ}\text{C}$.

Май: Наибольшая температура наблюдалась в 2012 году – $21,6^{\circ}\text{C}$ и в 1997 году – 21°C . В 1950 году была зафиксирована температура в 20°C . Такая же температура была в 1990 году. В период с 1971 по 1988 года средняя температура была около 11°C , после этого средняя температура резко выросла, примерно на $1,5^{\circ}\text{C}$. Минимум температур наблюдался в 1967 году – $4,5^{\circ}\text{C}$. Количество минимальных температур также резко снизилось после 1997 года. Резюмируя вышесказанное, май стал теплее за счет увеличения количества максимальных температур и уменьшения количества минимальных.

Июнь: Количество минимальных температур после 1995 года значительно сократилось – ниже 10°C температура падала лишь дважды (в 2011 году – $8,7^{\circ}\text{C}$ и в 2020 – $9,7^{\circ}\text{C}$). Раньше это происходило довольно часто. Самый минимум был зафиксирован в 1965 году и составил $8,6^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура была в 2020 году – 23°C .

Июль: Максимальная температура была в 2007 году и составила 23°C . Период похолодания наблюдался с 1957 по 1968 года – тогда максимальная температура была $18,4^{\circ}\text{C}$, а минимальная $15,8^{\circ}\text{C}$. С 1983 года средняя температура выросла за счет уменьшения количества минимальных температур. Самым теплым июлем стал 2014 год – средняя температура за этот год составила $17,4^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура была зафиксирована в 1980 году и составила $10,4^{\circ}\text{C}$.

Август: Максимум температуры был отмечен в 1995 году и составил $23,6^{\circ}\text{C}$. Ситуация со средней температурой в августе схожа июлем. Также как и предыдущем месяце, средняя температура выросла за счет уменьшения количества минимальных температур. Самая минимальная температура была отмечена в 1987 году и составила $9,5^{\circ}\text{C}$.

Сентябрь: Каких-то серьезных изменений в сентябре за весь период исследования не наблюдалось. Максимальная температура была зафиксирована

в 1992 году и составила 23,1°C. Немного сократилось число минимальных температур – до 1995 года температура нередко опускалась 9°C.

Октябрь: Высокий скачок температуры произошел в 1960 году - 20°C. После, до 1970 года было небольшое похолодание – температура не превышала 14-15°C. После 70-х годов XXI века по настоящее время максимальная температура держалась на одном уровне – 16-17°C. Средняя температура, за последние 30 лет, выросла за счет уменьшения количества минимальных значений температур.

Ноябрь: В XXI веке стали чаще наблюдаться высокие температуры в ноябре. С 2000 года температура поднималась выше 15°C целых 3 раза – в 2007 (15,4°C максимальная температура за весь период исследования), в 2011 (15,1°C) и в 2012 (15,3°C). Хотя до этого с 1950 по 2007 года это случалось один раз – в 1972 (15,3°C). За счет увеличения количества наибольших температур, средняя температура ноября за последние годы также выросла. Минимальным значением стал 1963 год – температура тогда составила 10,5°C.

Декабрь: С 1985 года стал виден резкий скачок высоких температур. Средняя температура в декабре стала доходить до 5°C и выше. Максимумы температур были отмечены в 1986 году (13,3°C), в 1995 (13,6°C) и в 2016-2017 годах (также 13,3°C). Аномально низкая температура наблюдалась в 2011 году и составила почти -3°C, хотя до этого с 1980 года температура не опускалась ниже 1°C.

Резюмируя вышесказанное:

максимальные температуры летом наблюдались в XXI;

в сентябре со временем температура практически не изменилась;

2.2.2 Мадрид

Проанализировано изменение среднемесячной температуры воздуха за весь доступный период наблюдений с 1950 по 2020 года.

На рисунке 2.14 для примера приведены графики временного хода для разных месяцев. Поскольку целью исследования было выявление изменений в последние десятилетия, связанные с глобальным потеплением, то основное внимание уделяется сравнению периодов до и после 1980-х годов. Расположение графиков и оси аналогичны рисунку 2.13.

Анализ среднесуточной температуры для г. Мадрид позволяет сделать следующие выводы:

Январь: Наибольшим значением температуры в январе отметился 2003 год – $14,6^{\circ}\text{C}$. Начиная с 1966 по 1974 год в Мадриде в январе было замечено похолодание – максимальные температуры не достигали и 11°C . Такая же тенденция наблюдалась в период с 1987 по 1995 года. Тогда максимальные температуры колеблись от 9°C до 11°C . С наступлением 1995 года максимальные температуры нередко стали преодолевать отметку в 12°C и выше. Средние температуры января выросли. Это связано с уменьшением количества минимальных температур – с 1985 года температура не падала ниже -2°C . Самая минимальная температура была отмечена в 1952 году и составила $-3,5^{\circ}\text{C}$.

Февраль: Период с 1978 года можно назвать периодом потепления, т.к. количество максимальных температур резко выросло. Исключением можно назвать 1958 и 1960 года, тогда там наблюдалась максимальное значение температур за весь период исследования – $14,9^{\circ}\text{C}$ и $16,2^{\circ}\text{C}$. За счет увеличения количества максимальных температур, средняя температура в феврале также выросла. Самый теплый февраль пришелся на 1990 и 2020 года. Тогда средняя температура была почти 11°C . Самым холодным февралем стал 1956 год – минимальная температура достигла отметки в -5°C . А средняя температура в этот год была чуть ниже 2°C .

Март: До 1988 года в марте никогда температура не была выше 18°C . После, эту отметку она достигала довольно часто. За последние 30 лет, температура поднималась выше 18°C целых 10 раз. Период с 2005 по 2015 можно назвать периодом похолодания. Так, максимальная температура не

превышала 17°C. Самый максимум был достигнут в 2015 году и составил 19,8°C. Минимальных температур наоборот стало меньше – с 1993 по 2004 года температура не падала ниже 3°C. Самая минимальная температура была зафиксирована в 1972 году и составила -1°C и в 1993 году - -0,5°C.

Апрель: Начиная с 1987 года максимальные температуры в апреле крайне часто стали достигать отметки в 20°C. Хотя ранее это случалось только 3 раза – в 1964, 1970 и в 1977 годах. Самая максимальная температура была зафиксирована в 2005 году и составила 22,3°C. Самым холодным годом стал 1986. Средняя температура тогда держалась около 9°C. А в один из дней температура опустилась до 3,3°C, что является наименьшим значением за весь период исследования. Похожее значение наблюдалось в 1958 году – тогда температура упала до 3,4°C.

Май: Климатическая ситуация схожа с апрелем. С 1986 года количество максимальных температур резко выросло. Максимальное значение температуры наблюдалось в 2015 году – 27,5°C. А самое минимальное в 1951 году – 6,2°C. Самыми теплыми годами можно назвать 1965 год, тогда средняя температура была 20,5°C и 2015 год – средняя температура 20,2°C.

Июнь: Последнее десятилетие стала самым жарким в Мадриде. С 2012 года максимальные значения температур стали достигать выше 31°C – в 2012 (31,5°C), 2015 (32°C), 2017 (32,9°C – максимальная температура за весь период исследования) и в 2019 (32,5°C). До 1982 года максимальные значения не достигали отметки в 30°C. Наименьшим значением температуры похвастался 1985 год – 8,7°C и 1953 год – 9,1°C. Самым холодным годом стал 1992. Тогда средняя температура была в районе 17,5°C. А самым теплым все тот же 2017 год – средняя температура держалась около 26,5°C.

Июль: С 1978 года в максимальные температуры в июле постоянно росли. До этого года максимальные температуры не поднимались выше 30,3°C. Самые высокие отметки наблюдались в 1958 и 1960 (по 30,3°C). С 80-х годов XX века началось потепление. Самый пик пришелся на 1995 год. Тогда максимальная температура достигла 32,4°C. Также, высокие температуры наблюдались еще в

1991 (32,0°C), 2015 (32,0°C), 2017 (32,3°C) и в 2020 годах (32,3°C). За счет увеличения количества максимальных температур, также в XXI веке увеличилась и средняя температура. Самый минимум наблюдался в 1978 году (14,1°C). Этот год стал самым холодным июлем за период исследования - средняя температура в этом году составила 20,6°C.

Август: Ситуация в августе схожа с июлем. С 1987 года опять начались резкие повышения максимальных температур. Правда, с 1994 года по 2003 наблюдался спад – максимум температуры был в 1998 году и составил 29,8°C. Это не намного меньше, чем в период с 1950 по 1987 года. Тогда максимальная температура в 1957 году и составила 30,2°C. Самый пик наблюдался в 2018 году – 33,0°C. Минимальных температур стало меньше. В XXI веке температура не падала 17,5°C. Самые минимальные температура были отмечены в 1952 (15,5°C), 1957 (16°C), 1970 (15,8°C) и 1985 году (16,1°C).

Сентябрь: В сентябре климатическая ситуация иная. Так, самым теплым периодом стал период с 1984 по 1987 года. Тогда средняя температура достигла 24,2°C. Дальше, вплоть до 2018 года средняя температура до таких показателей не доходила. Лишь в 2018 году средняя температура поднялась до схожих показателей – 24,0°C. Самая максимальная температура была зафиксирована в 2017 году и составила 31,0°C. А самый минимум пришелся на 1965 и 1975 года – по 10,0°C.

Октябрь: Максимальная температура наблюдалась в 2017 году и составила 23,5°C. Можно отметить еще 1986 и 1997 года (по 23,2°C) и 2005 год (23,0°C). С 2005 года максимальных температур наблюдалось больше, чем до этого. Теплыми годами можно назвать 1969 год – средняя температура составила 13,1°C, 1972 год – средняя температура 13,2°C, 1990, 1996 и 2007 года – средняя температура в этих годах была по 13,6°C.

Ноябрь: До 1980 года Максимальная температура редко поднималось выше 16°C. Это случалось лишь дважды – в 1955 году, где температура поднялась до 16,3°C и 1971. Тогда температура преодолела отметку в 16,4°C. После 80-х годов по настоящее время температура поднималась выше 16°C

довольно часто. Минимально максимальные температуры наблюдались в 1957 году ($10,2^{\circ}\text{C}$), в 1963 и 1967 годах (10°C). За весь период, самое максимальное значение температуры было $18,9^{\circ}\text{C}$. Это произошло в 1986 году. Хотя больше максимальных температур и наблюдалось в XXI веке (2007 год – 17°C , 2010 – $17,8^{\circ}\text{C}$, 2014 – $17,2^{\circ}\text{C}$ и 2020 – $16,9^{\circ}\text{C}$), средняя температура была выше в период с 1982 по 1990 года. Там, средняя температура до $9-9,5^{\circ}\text{C}$. Это связано с тем, что в XXI веке увеличилось количество минимальных температур.

Декабрь: Самые максимальные температуры наблюдались в 1954 году – $13,6^{\circ}\text{C}$, 1977 – $13,4^{\circ}\text{C}$, 1979 – $13,8^{\circ}\text{C}$, 1981 – $13,6^{\circ}\text{C}$, 1982 – $13,6^{\circ}\text{C}$ и 1987 – $13,5^{\circ}\text{C}$. Хотя больше максимальных температур и наблюдалась в 70-80 годах XX века, средняя температура выше была в XXI веке. Связано это с уменьшением количества минимальных температур с наступлением нового тысячелетия. Так, средняя температура декабря в 2016 году была $6,8^{\circ}\text{C}$. Тогда как в XX веке максимальная средняя температура наблюдалась в 1990 году и достигла отметки в $5,2^{\circ}\text{C}$.

Резюмируя вышесказанное:

весенние месяцы стали теплее за счёт увеличения количества теплых дней;

летние месяцы также стали теплее за счёт увеличения количества максимальных температур;

в ноябре увеличилось число минимальных температур.

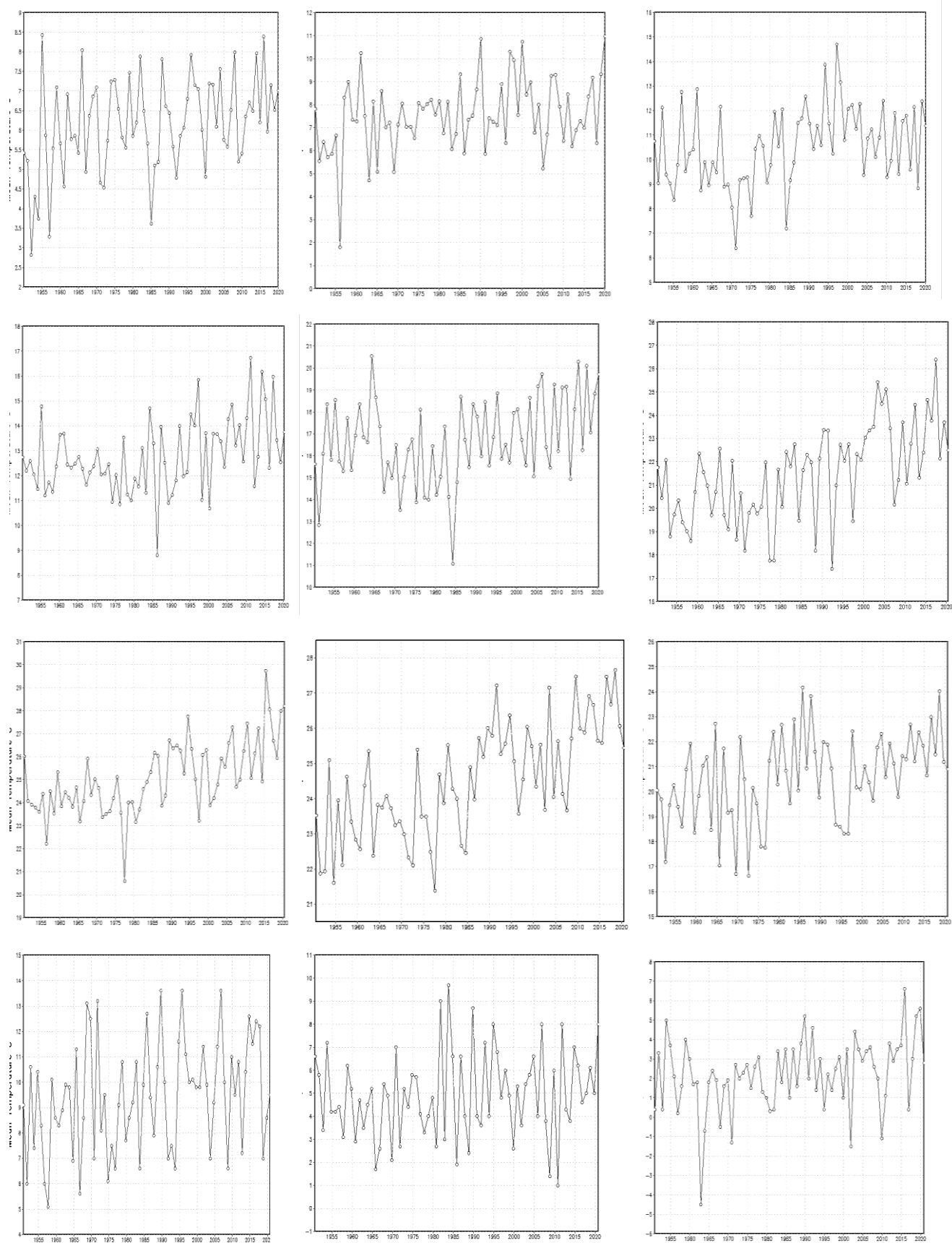


Рисунок 2.14 - Временной ход среднемесячной температуры воздуха в Мадриде

2.2.3 Гранада

Проанализируем изменение среднемесячной температуры воздуха за весь рассматриваемый период наблюдений с 1950 по 2020 года.

На рисунке 2.15 для примера приведены графики временного хода для разных месяцев. Поскольку целью исследования было выявление изменений в последние десятилетия, связанные с глобальным потеплением, то основное внимание уделяется сравнению периодов до и после 1980-х годов. Расположение графиков и оси аналогичны рисунку 2.13.

Анализ среднесуточной температуры для г. Гранада позволяет сделать следующие выводы:

Январь: Климатическая ситуация в январе в Гранаде не сильно изменилась. Количество максимальных температур понизилось. С 1955 по 1970 года температура была выше 13°C 8 раз. После этого по настоящее время температура преодолевала эту отметку всего 3 раза – в 1987 и 2001 (13,7°C) и в 2016 годах (14,6°C – максимальная температура за весь период исследования). Самый минимум температур прослеживался в 1971 году - -6°C и в 1987 году - -6,3°C.

Февраль: Средняя температура в XXI веке понизилась по сравнению с XX. Это связано уменьшением количества максимальных температур. Так, с 2000 по 2020 года, средняя температура не превышала 10°C. Самый максимум температуры наблюдался в 1960 году и составил 18,0°C. Хотя XXI век и стал холоднее XX, самым теплым февралем в Гранаде можно назвать 2020 год. Средняя температура тогда была 11,4°C. Связано это с тем, что минимальная температура в этот год в феврале была 8,4°C. Тогда как в другие годы температура падала до 2°C. Самая минимальная температура была зафиксирована в 1954 году и составила -5,5°C.

Март: В марте ситуация другая. Самым теплым периодом можно назвать с 1995 по 2002 года. Средняя температура там достигала 13,3°C. Далее температура пошла на спад – средняя температура не превышала 12°C. Максимальные значения температуры наблюдались в 2001 и 2005 годах. Тогда

температура достигла 19,9°C. Также можно отметить 1955 год – 19,5°C. Самое минимальное значение температуры наблюдалось в 1972 - -0,5°C и в 1993 году - -0,8°C.

Апрель: Самые высокие показатели средней температуры в апреле наблюдались в период с 1997 по 2017 года. За это промежуток времени, средняя температура 4 раза достигала отметки в 15,5°C и выше и 2 раза близко к этому значению – 15,3 и 15,4°C в 2015 и 2017 годах. Связано это с высокими показателями минимальных температур. В 1997 и 2007 годах минимальное значение температуры было 12°C, а в 2015 – 12,3°C. Ранее минимальная температура часто опускалась до 7°C и ниже. Самый минимум был зафиксирован в 1958 году и составил 3,2°C. А максимальная температура наблюдалась в 2014 году – 22,2°C.

Май: С 1965 по 1987 года был спад температуры. После, средняя температура резко увеличилась за счет увеличения количества максимальных температур. Так, средняя температура стала довольно часто пониматься выше 19°C. Максимальные температуры были отмечены в 1995 (27°C), в 1999 (26,9°C) и в 2006 годах (27,5°C). Самая минимальная температура наблюдалась в 1951 году и составила 6,6°C.

Июнь: С наступлением XXI века, значительно выросло количество максимальных температур. Самая высокая наблюдалась в 2017 году и составила 31,2°C. Еще 5 раз температура поднималась выше 30°C, хотя до этого, за весь период исследования, ни разу не поднималась выше 30°C. За счет этого, выросла и средняя температура. Самая высокая средняя температура наблюдалась в том же 2017 году и составила 25,8°C. В период с 1950 по 1981 года средняя температура была около 22°C. А вот, количество минимальных температур в XXI веке снизилось. Самое минимальное значение с 2000 года составило 13,9°C (2011 год). За весь период исследования, с самой минимальной температурой оказался 1964 год – 11,8°C.

Июль: Количество максимальных температур с 1990 года выросло, но незначительно. Самым холодным июлем в Гранаде можно назвать 1988 год. В

этот года была аномально низкая максимальная температура – 18,8°C. А средняя температура в этом году была 18,6°C. В другие года, средняя температура крайне редко опускалась ниже 24°C. Самая максимальная температура наблюдалась в 1980 году и составила 33,0°C. Минимальная температура была зафиксирована в 1977 году – тогда температура в июле опустилась до 16,0°C.

Август: Также как и в июле, самый холодный год был 1988. Средняя температура в августе была 18,8°C, а максимальная 19,0°C. Количество максимальных температур, начиная с 1994 года выросло. Температура стала подниматься выше 31°C. Максимумы температуры наблюдались в 1994 и 1995 годах – 33,0 и 29,9°C, а минимумы в 1977 (15,8°C) и в 1994 годах (16,2°C).

Сентябрь: Максимальная температура наблюдалась в 2017 году и составила 31,0°C. Средняя температура с наступлением XXI века упала. В 2005 году средняя температура была 23,3 °C, а далее не поднималась выше 22,2°C. Связано это с увеличением количества минимальных температур. Теплым периодом можно назвать 1983 по 1991 года – средняя температура за этот период составила около 23,5°C. Также аномально высокая средняя температура наблюдалась в 1965 году – 25,4°C. 1973 и 1975 стали самыми холодными годами за весь исследуемый период с минимальной температурой в 11,5 и 12,0°C.

Октябрь: Пик Максимальных температур выпал на с 2005 по 2010 года. Годом с наибольшей максимальной температурой оказался 2007. Максимальная температура октября в тот год составила 25,8°C. Средняя температура в XXI веке не выросла по сравнению с XX. Связано это с тем, что вместе с увеличением количества максимальных температур, также увеличилось количество минимальных. Аномально высокая средняя температура была зафиксирована в 1988 году и составила 21, 2°C. Это на 6°C выше, чем в 2007 году – вторым годом по величине средней температуры. Тогда средняя температура составила 15,6°C.

Ноябрь: Также в ноябре аномально высокая средняя температура наблюдалась в 1988 году – 21,1°C. Впоследствии, средняя температура не поднималась выше 9°C. Максимальная температура также наблюдалась в 1988 году – 21,5°C.

Декабрь: Климатическая ситуация в декабре максимально схожа с октябрём и ноябрём. Также самая максимальная температура наблюдалась в 1988 году и составила 21,2°C. В остальном, средняя температура за весь период исследования не сильно изменилась.

Резюмируя вышесказанное:

февраль за последние годы стал холоднее;

летние месяцы стали теплее за счёт увеличения количества теплых дней;

Аномально высокая температура наблюдалась в ноябре и декабре 1988 года.

2.2.4 Нови-Сад

Проанализировано изменение среднесуточной температуры воздуха за весь доступный период наблюдений с 1950 по 2020 года.

На рисунке 2.16 для примера приведены графики временного хода для разных месяцев. Поскольку целью исследования было выявление изменений в последние десятилетия, связанные с глобальным потеплением, то основное внимание уделяется сравнению периодов до и после 1980-х годов. Расположение графиков и оси аналогичны рисунку 2.13.

Анализ среднесуточной температуры для г. Нови-Сад позволяет сделать следующие выводы:

Январь: С 1983 году количество максимальных температур увеличилось. Самый максимум наблюдался в 2016 году и составил 15,2°C. Количество минимальных температур сократилось, но незначительно. Самая минимальная температура была зафиксирована в 1963 году - -22,7°C.

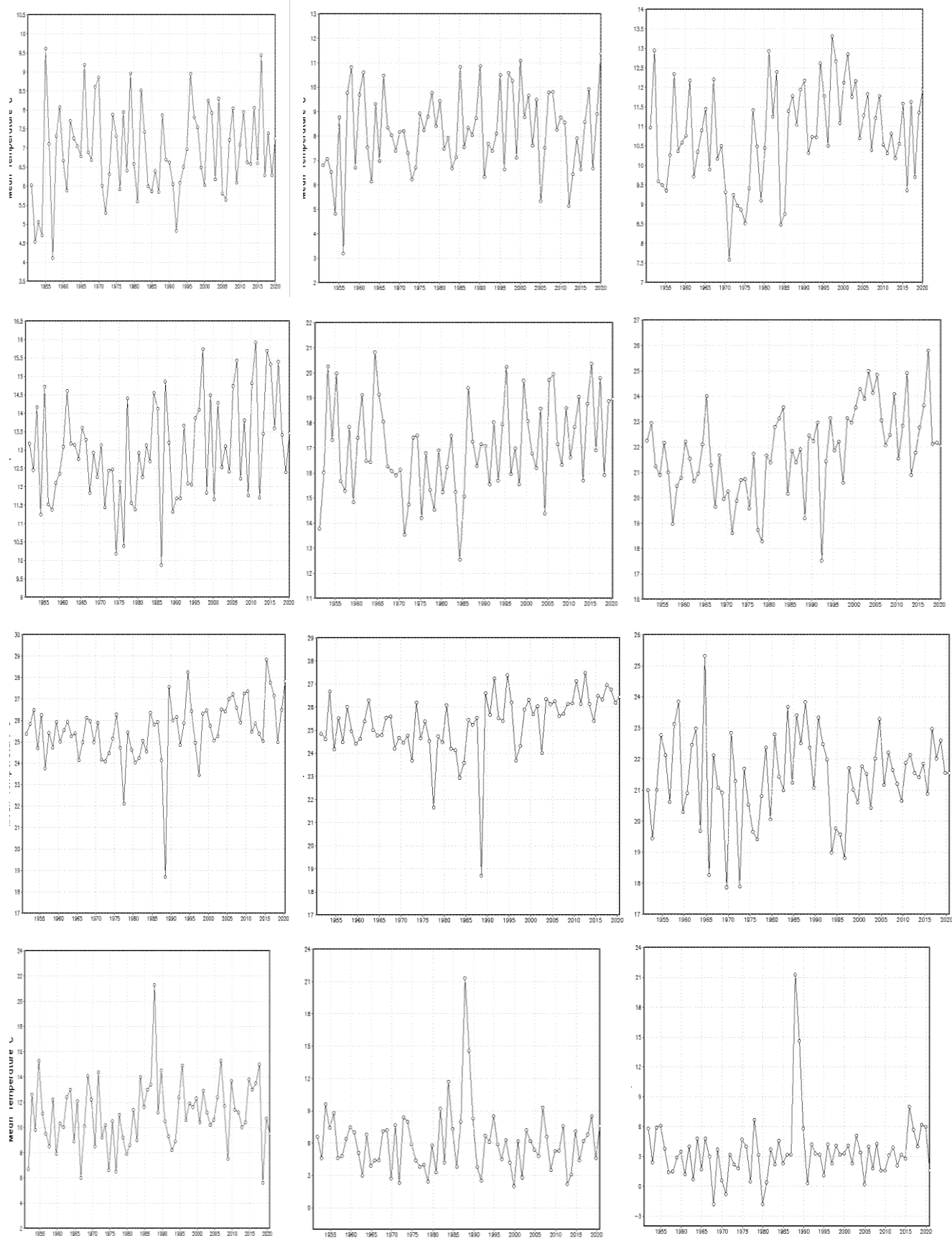


Рисунок 2.15 - Временной ход среднемесячной температуры воздуха в Гранаде

Февраль: Самым холодным февралем можно назвать 1956 год. Максимальная температура в этот год составила -2°C , а минимальная -21°C . Средняя температура составила $-9,8^{\circ}\text{C}$. Во все остальные годы, средняя температура не опускалась ниже -5°C , за исключением 1954 года (средняя температура $-7,0^{\circ}\text{C}$). Максимальная температура наблюдалась в 1989 году и составила $16,4^{\circ}\text{C}$.

Март: За последнее десятилетие средняя температура в марте выросла. Так, в 2014, 2017 и 2019 года средняя температура была $10,0^{\circ}\text{C}$. Максимальная средняя температура была зафиксирована в 2001 году и составила $10,2^{\circ}\text{C}$. Такая высокая средняя температура связана с тем, что в эти годы минимальная температура была выше, чем в остальные – в 2014 -6°C , в 2017 $-5,2^{\circ}\text{C}$ и в 2019 году $-5,3^{\circ}\text{C}$. Самый минимум температуры был зафиксирован в 2018 году $-12,4^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура была в 1983 году $-18,7^{\circ}\text{C}$, в 2001 $-18,9^{\circ}\text{C}$ и в 2018 $-18,6^{\circ}\text{C}$.

Апрель: Аномально высокие температуры для апреля наблюдались в 2003, 2013 и в 2018 годах. Тогда максимальные температуры составили $24,0$, $23,3$ и $24,8^{\circ}\text{C}$. Наибольшая средняя температура была зафиксирована в 2018 году и составила $17,3^{\circ}\text{C}$. Минимальная температура наблюдалась в 1955 году $-0,0^{\circ}\text{C}$ и в 2003 году $-0,2^{\circ}\text{C}$.

Май: Начиная с 2007 года, максимальные температуры начали становиться ниже. Если в 2007 максимальная температура составила $27,1^{\circ}\text{C}$, то в 2019 году максимальная температура составила $20,4^{\circ}\text{C}$. За весь период исследования, максимальная температура наблюдалась в 1950 году и составила $28,7^{\circ}\text{C}$. Несмотря на то, что в XXI веке максимумов стало меньше, самый теплый апрель был в 2018 году. Средняя температура в этом году составила $20,5^{\circ}\text{C}$. Связано это с тем, что минимальная температура тогда составила $16,6^{\circ}\text{C}$. Минимум температур наблюдался в 1978 году $-4,6^{\circ}\text{C}$.

Июнь: Каких-то значимых изменений за весь исследуемый период не происходило. Максимальные значения температуры наблюдались в 2003 и 2004 годах $-29,5$ и $29,4^{\circ}\text{C}$. Средняя температура в XXI веке немного выросла за счет

уменьшения количества минимальных температур. Самая высокая средняя температура была зафиксирована в 2003 году – 24,3°C (Минимальная 20,0°C). Минимум температур за весь период исследования также наблюдался в XXI веке – в 2005 году (8,1°C).

Июль: Средняя температура в XXI веке, как и в июне, выросла за счет сокращения количества минимальных температур. Наибольшая средняя температура наблюдалась в 2012 году (25,3°C) и в 2015 (24,9°C). Также, высокая средняя температура наблюдалась в начале исследования – 1950 году. Тогда она составила 25,0°C. В этом же году зафиксировалась и самая максимальная температура за весь период – 33,4°C. Минимальная температура была в 1960 и 1970 годах – 12,6°C.

Август: Со временем количество максимальных температур увеличилось, а минимальных сократилось. Максимальные значения наблюдались в 2004 – 31,6°C и в 2017 году – 31,9°C. За счет этого средние показатели температуры также увеличились. С 2000 года, средняя температура часто стала достигать выше 24°C. Минимальное значение температуры было зафиксировано в 1982 году и составило 11,0°C.

Сентябрь: До 1980-х годов, средняя температура в сентябре не поднималась выше 19°C. С 1985 года средняя температура стала достигать до 20°C и выше. Связано это с сокращением количества минимальных температур. Максимальное значение температуры было в 2015 году и составило 28,4°C. А минимальное значение в 1971 – 5,7°C.

Октябрь: С 1950 по 1990 года средняя температура составляла 6-7°C. Дальше, до 1998 года был период похолодания – средняя температура составила около 4,5°C. В XXI веке средняя температура вернулась на прежний уровень. Максимальное значение наблюдалось в 2018 году и составило 23,5°C.

Ноябрь: Максимальные значения температуры были зафиксированы в 1964 году – 21,0°C, в 1999 – 20,0 и в 2003 – 19,9°C. А вот, максимальные средние температуры наблюдались в последнее десятилетие – в 2013 (5,6°C) и в

2020 годах ($6,0^{\circ}\text{C}$). Связано это с сокращением количества минимальных температур в XXI веке.

Декабрь: С 1961 года средняя температура немного упала – с 0 до -2°C . дальше, по настоящее время, средняя температура оставалась на том же уровне - -2°C . Самые холодные декабри были в 1958, 1964 и 1968 годах – тогда средняя температура составила $-15,0^{\circ}\text{C}$, $-14,2^{\circ}\text{C}$ и $-16,0^{\circ}\text{C}$. А самый теплый декабрь был в 1960 и 1961 годах – $0,0^{\circ}\text{C}$ и $0,8^{\circ}\text{C}$. Максимально температура поднималась до $17,8^{\circ}\text{C}$ в 1990 году.

Резюмируя вышесказанное:

весенние месяцы стали теплее за счёт увеличения количества теплых дней;

в декабре среднесуточная температура с годами не изменилась;

июль и август стали теплее за счёт сокращения количества холодных дней.

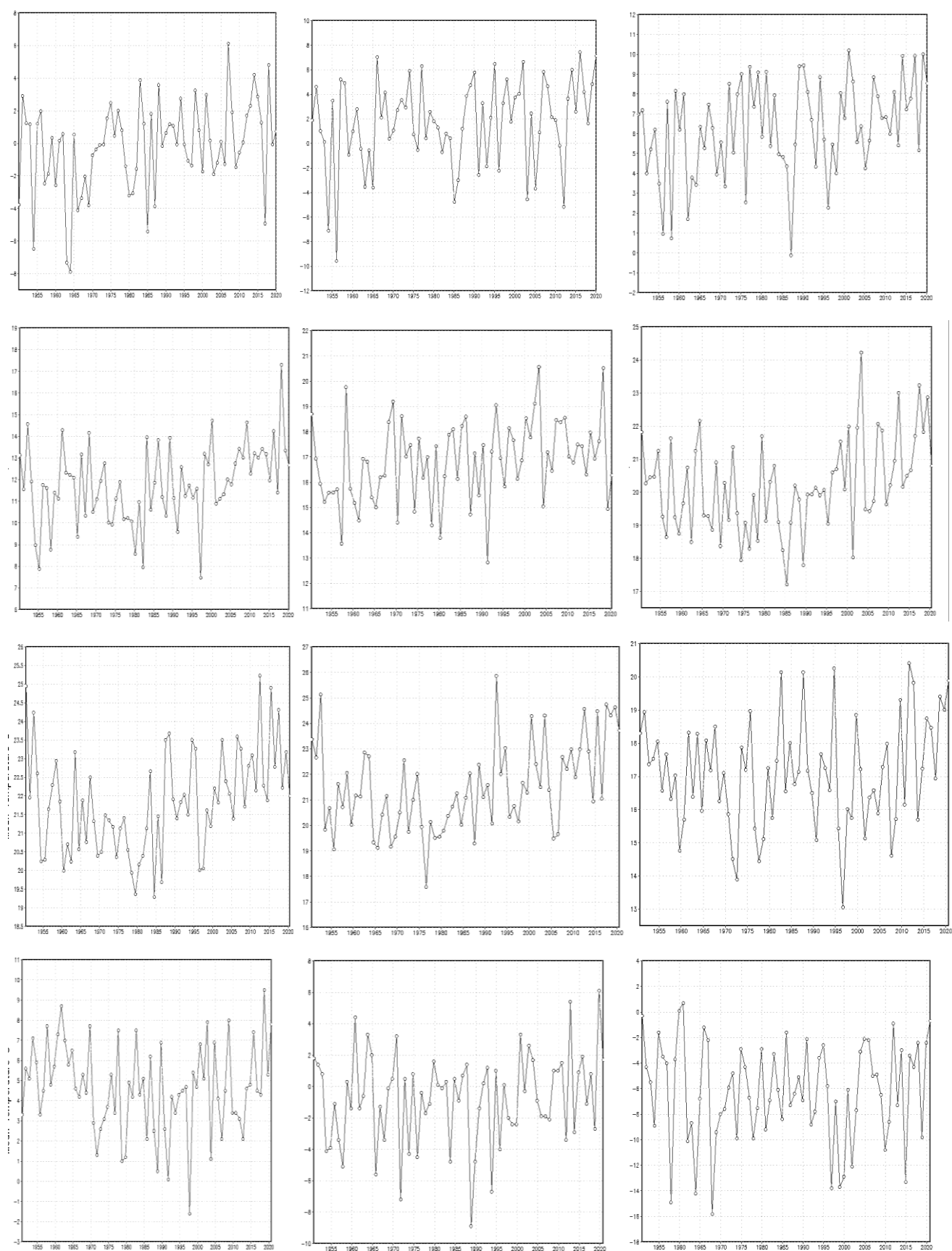


Рисунок 2.16 - Временной ход среднемесячной температуры воздуха в Нови-Саде

2.2.5 Анализ тенденций изменения среднемесячной температуры воздуха

Рассмотрим изменение среднемесячной температуры воздуха по месяцам.

Январь.

На всех станциях среднемесячная январская температура воздуха повышается. Меньше всего температура меняется в Барселоне (рисунок 2.17). Линейный тренд практически нулевой и не изменилось соотношение максимальных и минимальных значений температуры воздуха до и после 80х годов 20 века.

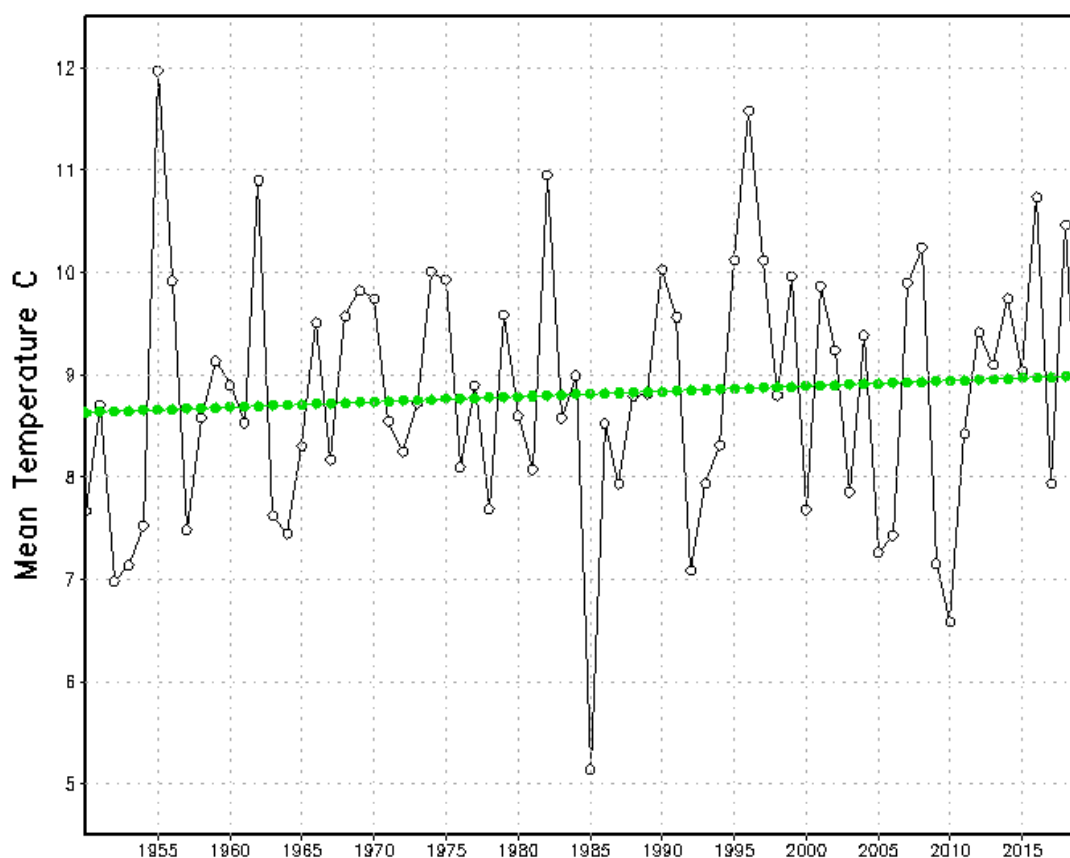


Рисунок 2.17 – Временной ход среднемесячной температуры воздуха в январе в Барселоне

На некоторых станциях (например, Мадрид (рисунок 2.18)) прослеживается положительный тренд, но он возникает не за счёт средних значений температуры воздуха, а за счёт более частых и более высоких максимальных значений температуры воздуха.

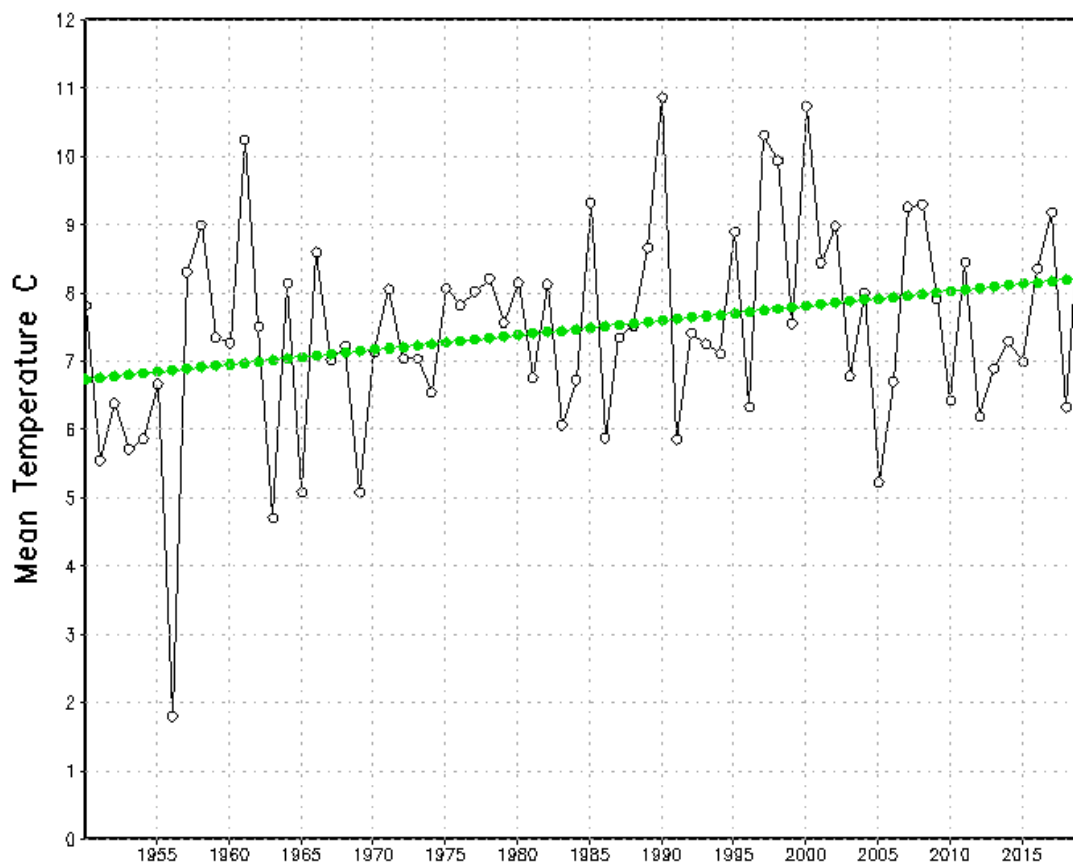


Рисунок 2.18 – Временной ход среднемесячной температуры воздуха в январе в Барселоне

Положительный тренд, определяемый в Гранаде (рисунок 2.19), также можно отнести к «ложным» - среднее значение за два последовательных периода 1950-1990 и 1990-2020 не меняется.

Пространственное распределение коэффициентов временного тренда представлено на рисунке 2.20.

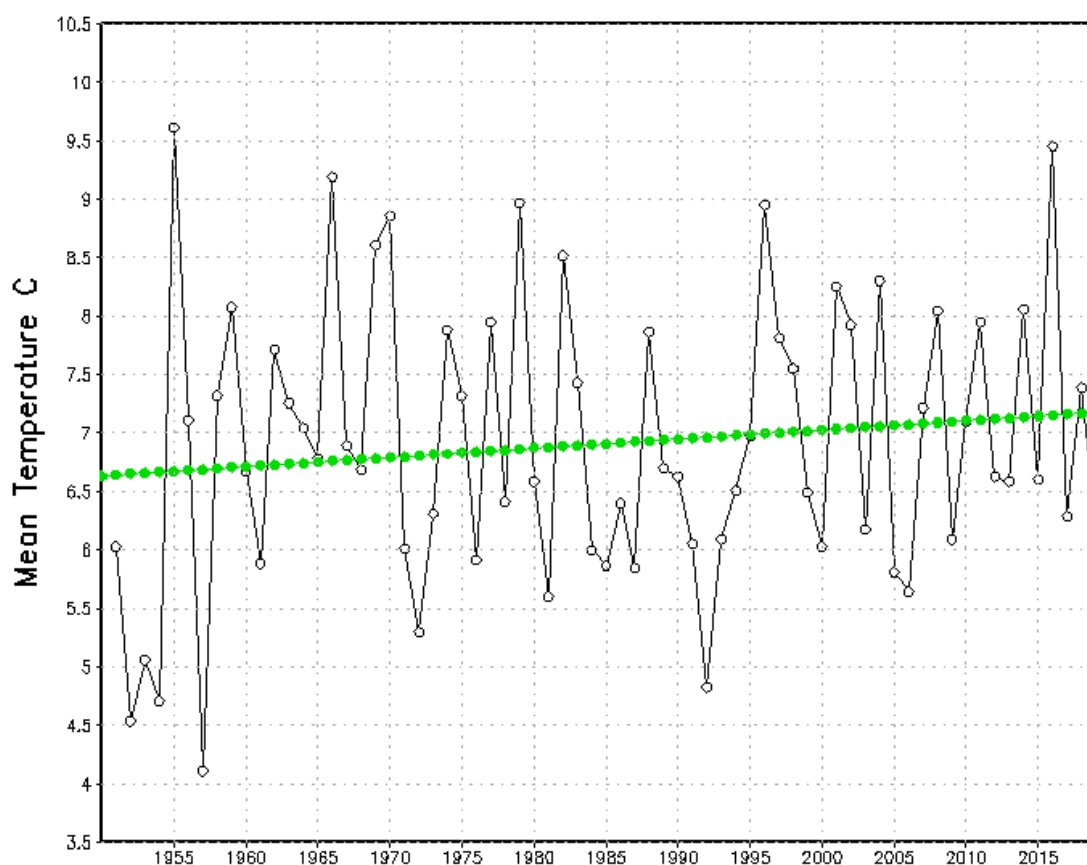


Рисунок 2.19 – Временной ход среднемесячной температуры воздуха в январе в Гранаде

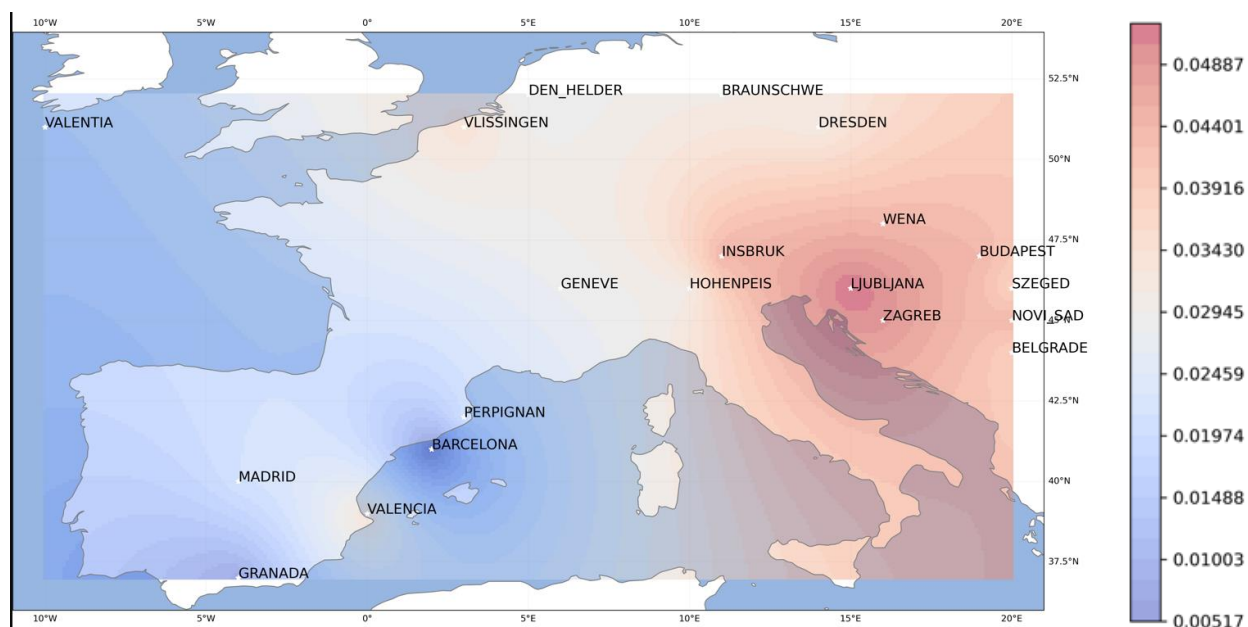


Рисунок 2.20 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда. Январь

Максимум коэффициента линейного тренда в Любляне и в близлежащих городах связан с увеличением числа положительных экстремумов (рисунок 2.21)

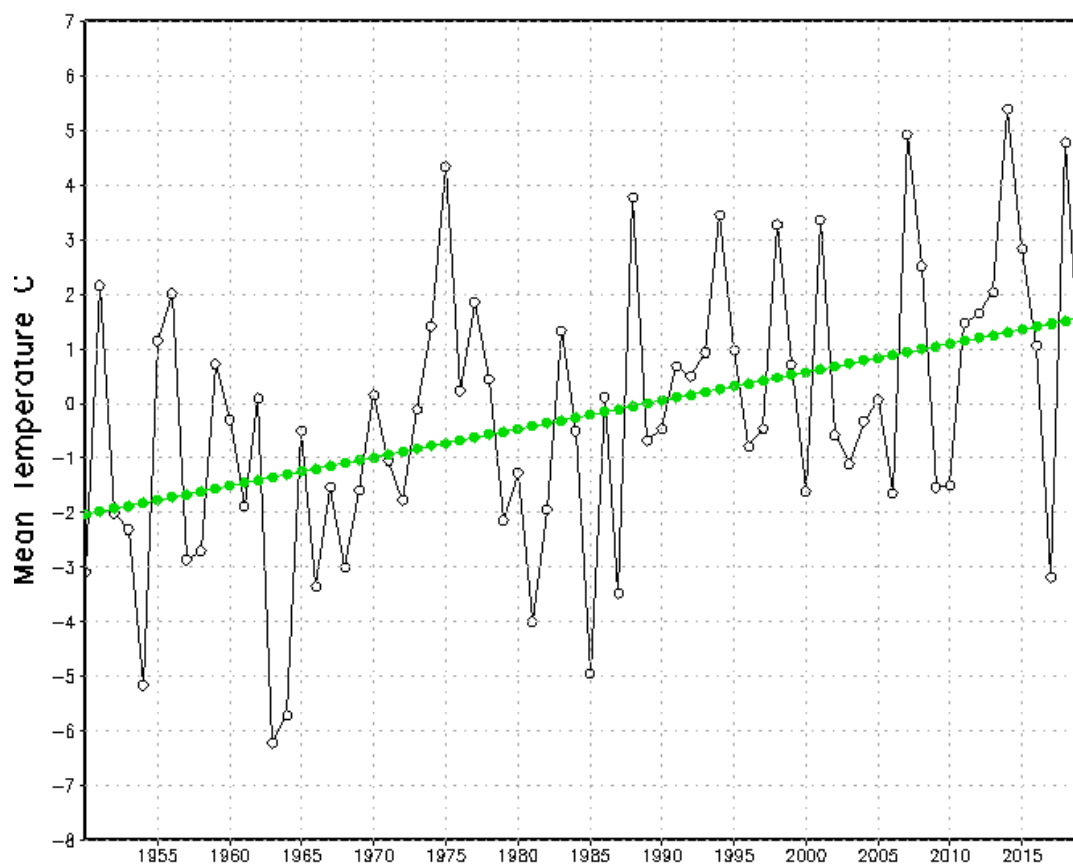
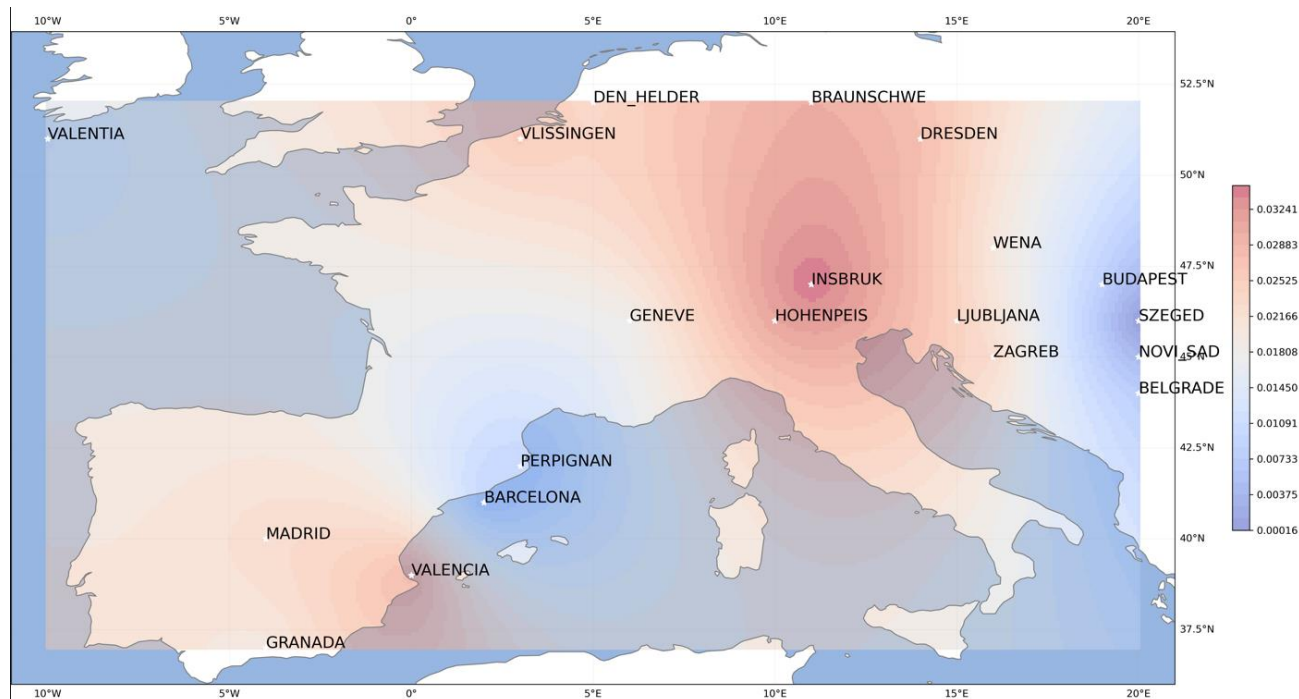


Рисунок 2.21 – Временной ход среднемесячной температуры воздуха в январе в Любляне

Ситуация с изменением среднемесячной температуры в феврале такая же, а в декабре происходит ещё меньше изменений. Это проиллюстрировано на рисунке 2.22 пространственным распределением коэффициента линейного тренда среднемесячной температуры воздуха в феврале и в декабре.

a)



б)

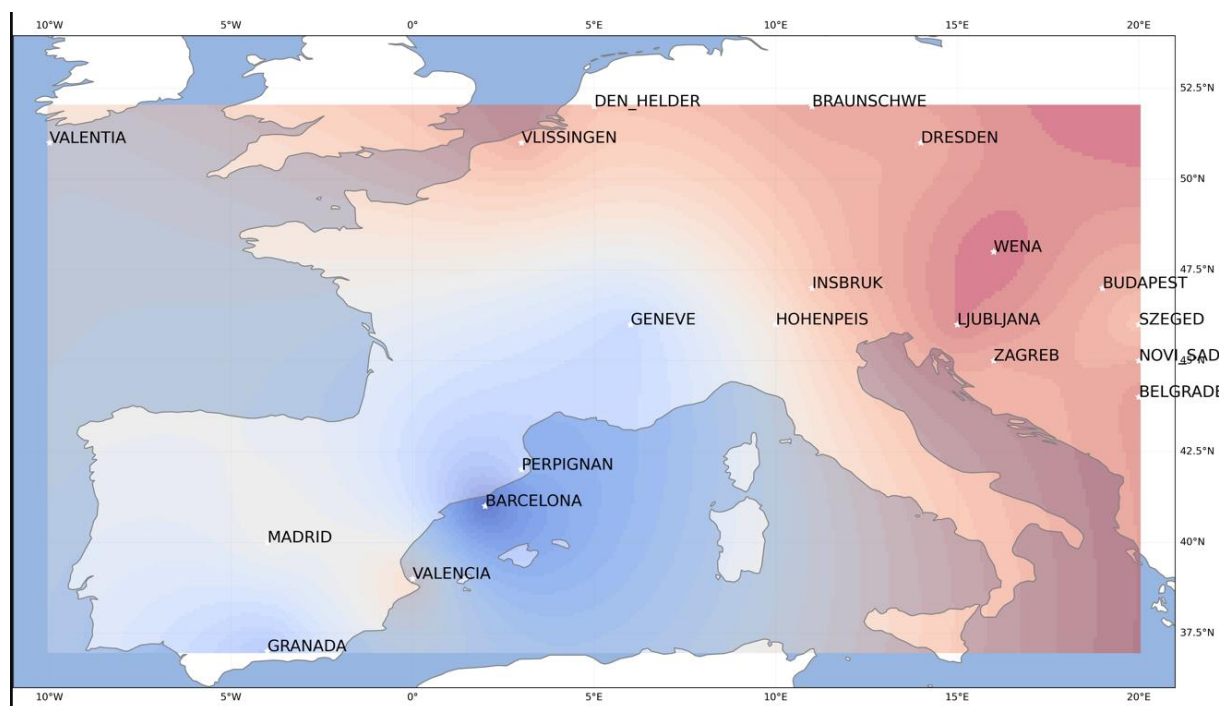


Рисунок 2.22 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда среднемесячной температуры воздуха в феврале (б) и декабре (а)

В летние месяцы температура воздуха повышается значительно. На рисунке 2.23 представлен временной ход среднемесячной температуры воздуха июня в Любляне, где очень хорошо прослеживается повышение средней температуры.

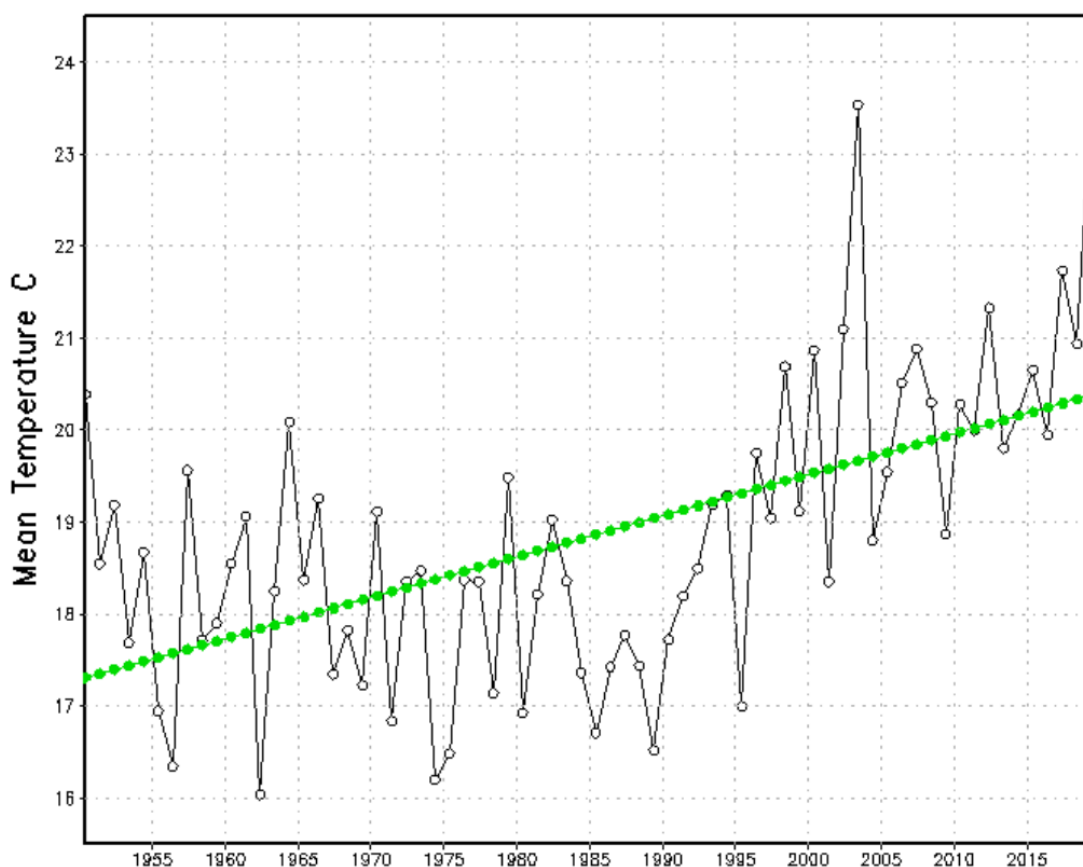


Рисунок 2.23 Временной ход среднемесячной температуры воздуха в июне в Любляне

Наибольшие изменения прослеживаются в августе (рисунок 2.24).

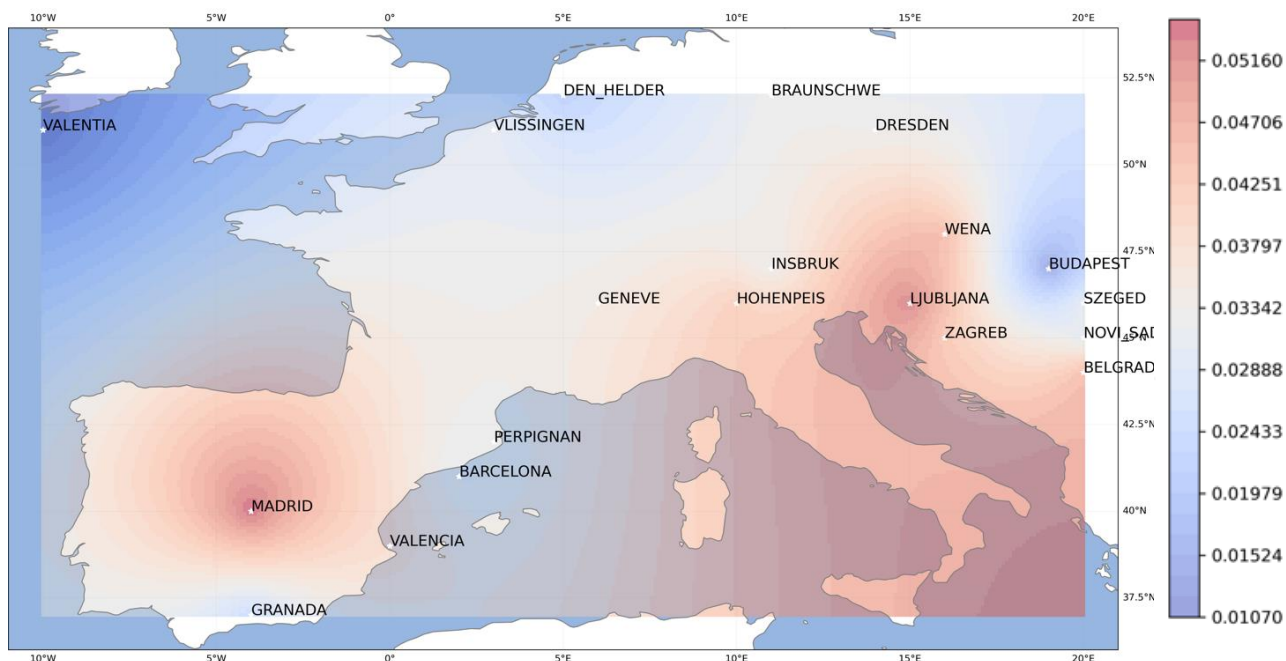
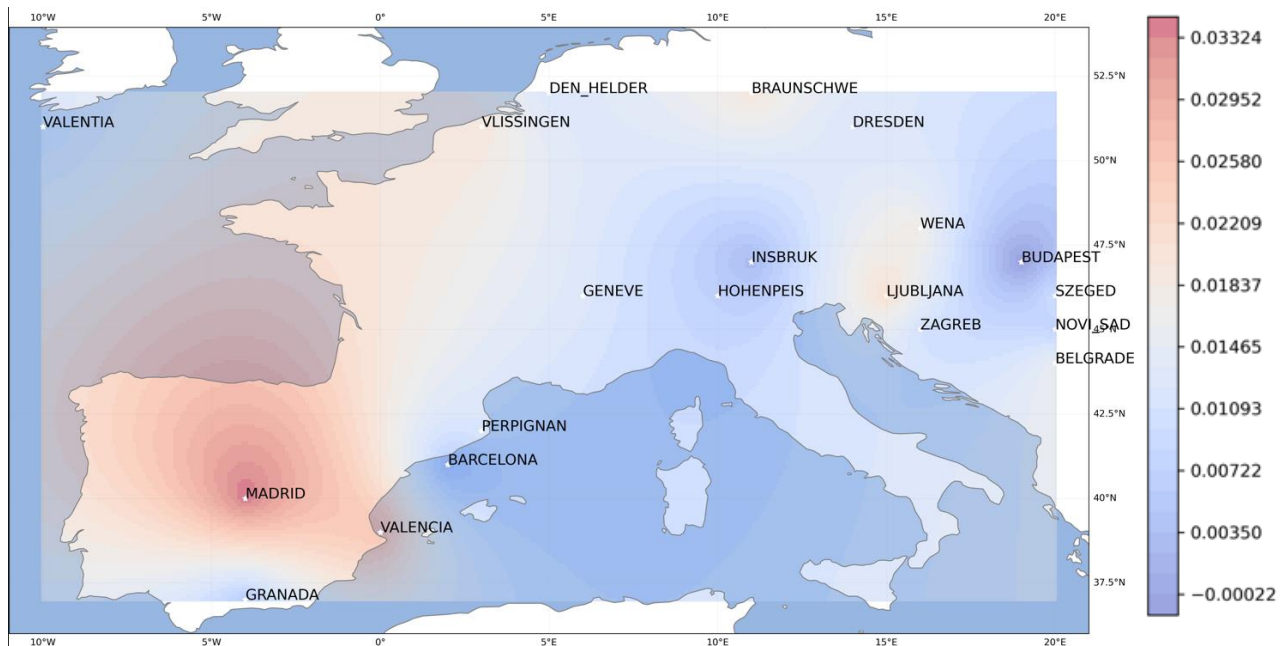


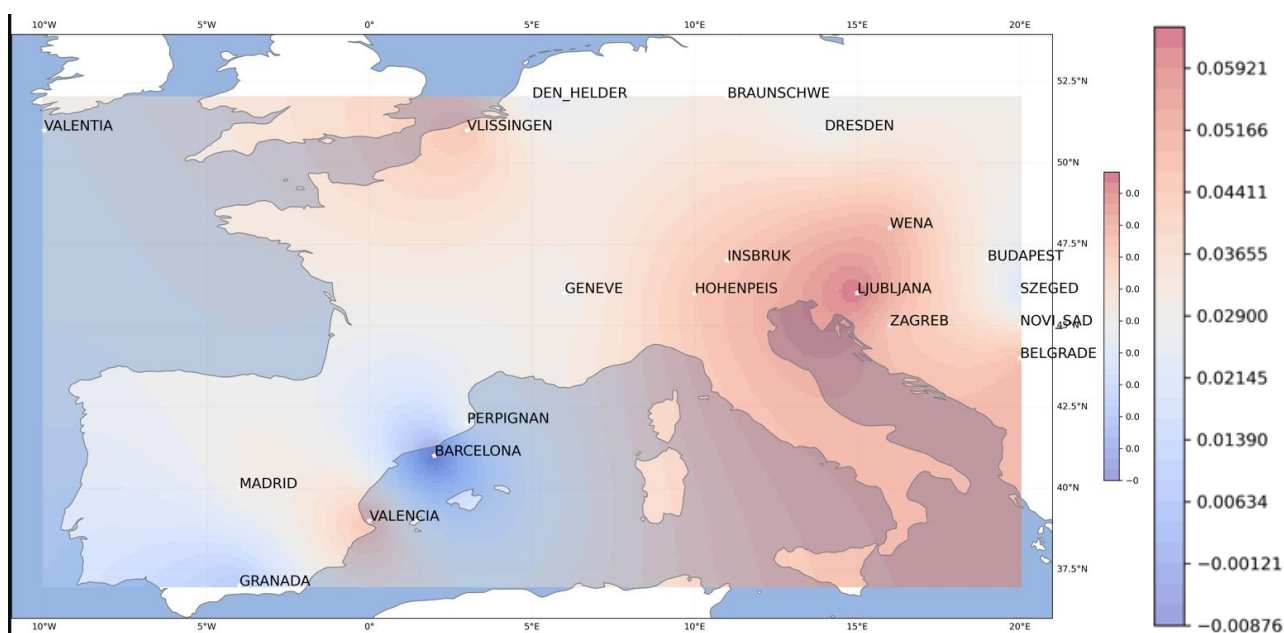
Рисунок 2.23 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда среднемесячной температуры воздуха в августе

В сентябре и ноября в некоторых регионах прослеживаются отрицательные тренды, а в тех городах, где прослеживаются положительные тренды, их коэффициенты значительно меньше летних (рисунок 2.24)

Из весенних месяцев самое значительное потепление наблюдается в марте, пространственное распределение аналогично ноября (рисунок 2.24б), но сами значения коэффициента линейного тренда меньше. В апреле и мае изменений в среднемесячной температуре воздуха практически не наблюдается.



a)



б)

Рисунок 2.24 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда среднемесячной температуры воздуха, сентябрь (а) и ноябрь (б)

Изменяются и максимальные и минимальные значения температуры воздуха. Особенно значительные положительные тренды наблюдаются во временных рядах минимальной среднемесячной температуре воздуха.

Зимой и летом максимальное повышение температуры воздуха наблюдается на востоке Европы (Загреб, Любляна, Вена), а минимальное – на западе (Мадрид, Барселона). Это можно увидеть на рисунке 2.25.

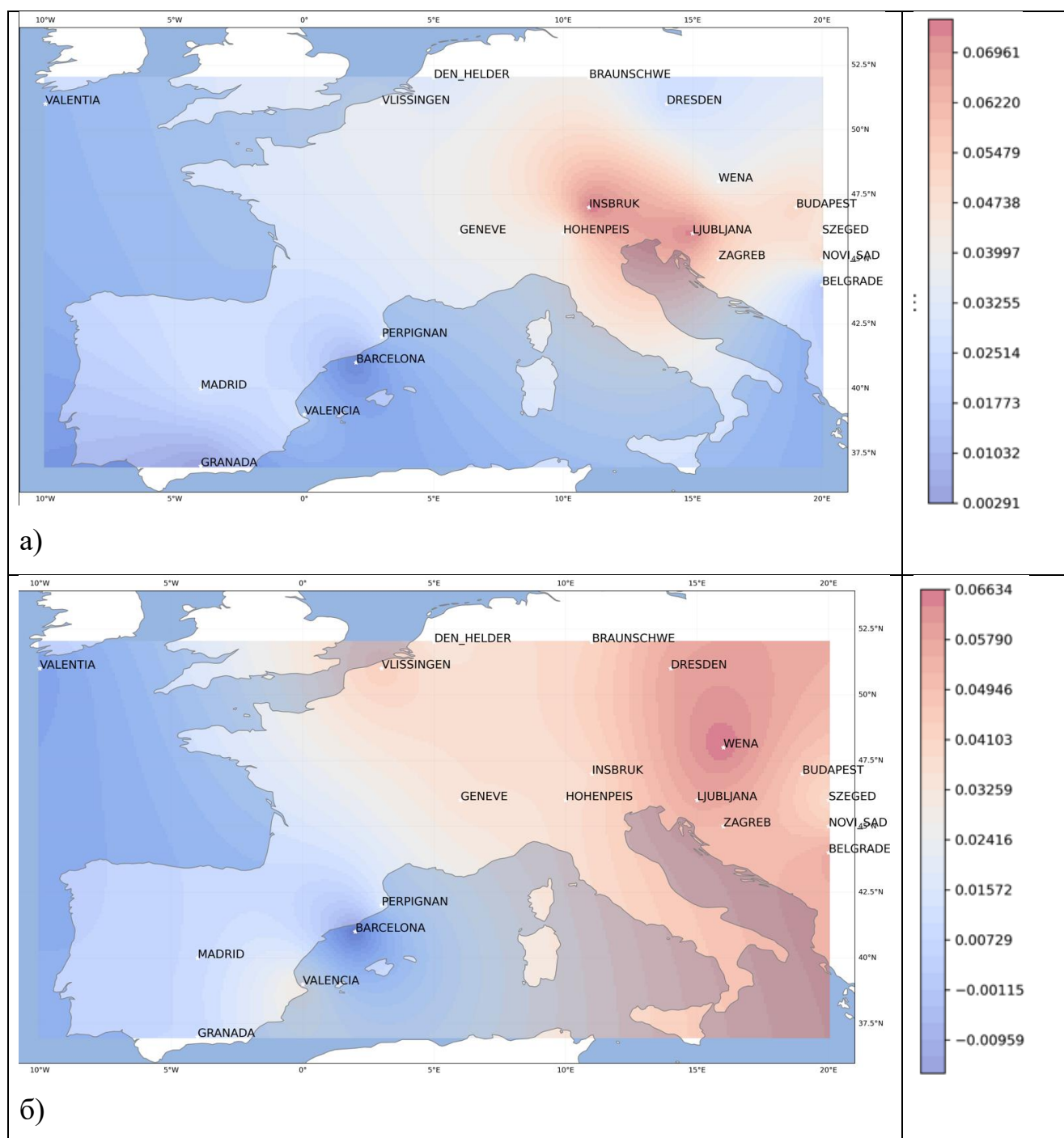


Рисунок 2.25 – Пространственное распределение коэффициента линейного тренда минимальной среднемесячной температуры воздуха, январь (а), март (б)

На большинстве станций наибольшие изменения произошли в зимние месяцы. Характерный временной ход среднеквадратического отклонения представлен на рисунке 2.26.



Рисунок 2.26 – Среднеквадратическое отклонения среднемесячной температуры воздуха, Любляна

Но в Мадриде, Гранаде, Барселоне максимальные изменения проходятся на тёплую половину года (май – Гранада, июнь – Мадрид, Барселона). Пример изменений представлен на рисунке 2.27.



Рисунок 2.27 – Среднеквадратическое отклонения среднемесячной температуры воздуха, Мадрид

3 АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ И СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Для определения влияния внешних факторов на изменение температуры воздуха была предпринята попытка проследить изменения в рассматриваемый период продолжительности солнечного сияния и суммарной солнечной радиации.

3.1 Продолжительность солнечного сияния

Продолжительность солнечного сияния это продолжительность времени в течение суток, месяца, года (обычно многолетняя средняя), когда солнце в данной местности находится над горизонтом и не скрыто за облаками, туманом, мглой и т.п.; практически – когда солнечные лучи оставляют след на ленте гелиографа. Выражается в часах или процентах от наибольшей возможной величины (т.е. от продолжительности дневного времени за данный период). В Европе средние годовые значения продолжительности солнечного сияния в часах: между 1150 (26%) в Северной Шотландии и 2900 (66%) в Мадриде. В Москве – 1600 ч, в Средней Азии порядка 3000 ч.

К сожалению, в анализируемых данных эта характеристика имела достаточный период наблюдений только в нескольких городах: Hohenpeissenberg, Vlissingen, Любляна, Мадрид, Валенсия, Женева, Гранада, Szeged.

Во всех населённых пунктах наблюдается увеличение продолжительности солнечного сияния, кроме Hohenpeissenberg. Это можно проследить на рисунках 3.1. По оси ординат отложена продолжительность в 0.1 час/день.

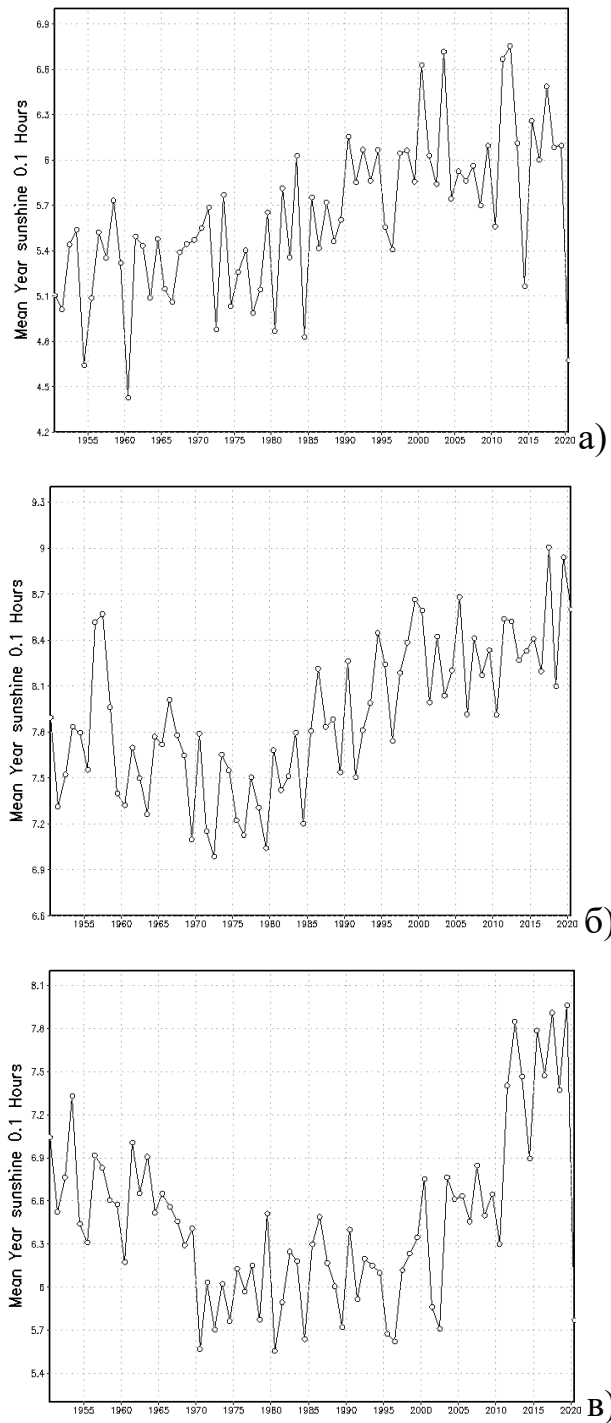


Рисунок 3.1 — Временной ход среднегодовой продолжительности солнечного сияния в Любляна (а), Гранада (б), Szeged (в)

3.1.1 Мадрид

Проанализировано изменение продолжительности солнечного сияния за весь доступный период наблюдений с 1950 по 2020 года.

На рисунке 3.2 для примера приведены графики временного хода для разных месяцев. Поскольку целью исследования было выявление изменений в последние десятилетия, связанные с глобальным потеплением, то основное внимание уделяется сравнению периодов до и после 1980-х годов.

Январь: В XXI веке количество солнечных дней увеличилось. Так, с 2005 году средние показатели солнечного сияния стали больше 7ч. Минимум наблюдался в 1970 году – 1,4ч.

Февраль: Максимумы солнечного сияния в феврале также наблюдались в XXI веке – в 2012 (9,2ч) и 2019 годах (9,1ч).

Март: Изменения не значительны. Максимум солнечного сияния наблюдался в 1997 году – 10,1ч.

Апрель: С 1970 по 1990 года был спад солнечного сияния.

Май: Можно выделить 1969 год. Тогда количество солнечных дней было минимальным за весь период исследования – 3,3ч.

Июнь: Минимальные показатели солнечного сияния наблюдались в 1988 (7,5ч) и 1992 годах (6,6ч).

Июль: Сильных изменений за весь период не наблюдалось. Исключением был 1970 год. Тогда количество солнечного сияния было минимальным – 6,8ч.

Август: Как и июль, в 1970 году наблюдалось минимальное количество солнечного сияния.

Сентябрь: Ситуация максимально близкая к августу.

Октябрь: С 1999 по 2006 года был спад. Максимум солнечного сияния наблюдалось в 2017 году – 9ч.

Ноябрь: Изменения не значительны. Максимальное количество солнечных дней наблюдалось в 2008 году – 8,5ч.

Декабрь: Максимальное среднее количество солнечного сияния было зафиксировано в 1989 году – 7,3ч. В следующем году (1990), наоборот наблюдалось минимум солнечных дней – 2,5ч.

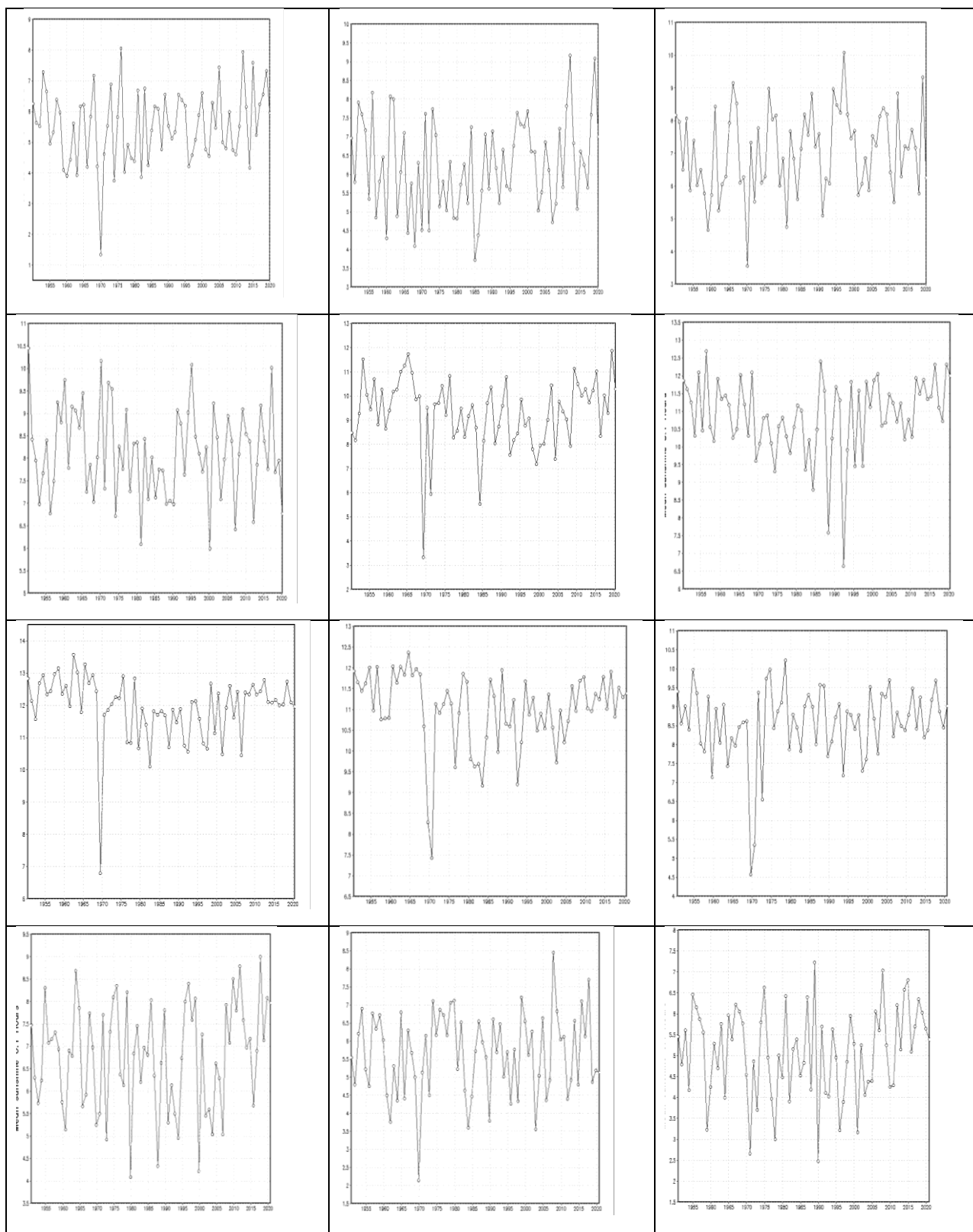


Рисунок 3.2 - Временной ход продолжительности солнечного сияния в Мадриде

3.1.2 Гранада

На рисунке 3.3 для примера приведены графики временного хода для разных месяцев среднемесячных значений за период с 1950 по 2020 года.

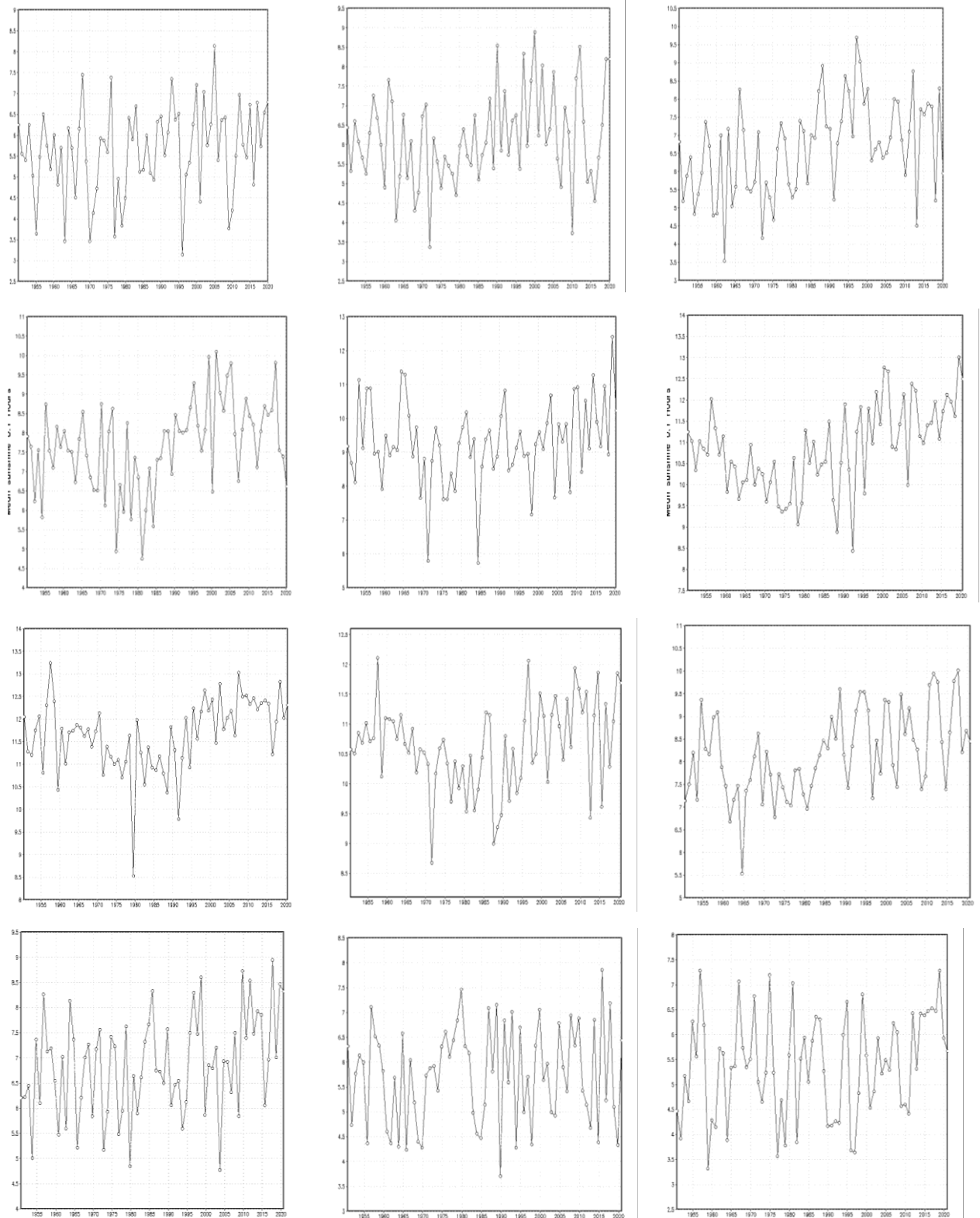


Рисунок 3.3 - Временной ход солнечного сияния в Гранаде

Январь: Начиная с 1993 года, выросли средние значения по продолжительности солнечного сияния. Максимум наблюдался в 2005 году – 8,2ч.

Февраль: Также как и в январе, в 90-е началось увеличение количества средних показателей по продолжительности солнечных дней.

Март: С 1985 года средняя продолжительность солнечного сияния увеличилась на 1 час – с 10 ч до 11ч. Максимум наблюдался в 2015 и 2018 годах (11,6ч).

Апрель: Минимальная продолжительность солнечного сияния была зафиксирована в 1981 году – 4,7ч. А максимальная в 2001 году – 10,1ч.

Май: Минимумы наблюдались в 1971 и 1984 годах – 5,8ч.

Июнь: С 1980 года стали наблюдаться повышения средней продолжительности солнечного сияния.

Июль: Изменения в июле схожи с июнем. В XXI веке стало больше наблюдаться солнечных дней.

Август: С 1996 года часто средняя продолжительность солнечного сияния стала достигать 11 ч и выше. Максимумы наблюдались в 1958 году – 12,2 ч и 1996 – 12,1 ч.

Сентябрь: В сентябре максимальная средняя продолжительность солнечного сияния наблюдалась в 2012 и 2017 годах – 10 ч. Минимум был зафиксирован в 1965 и составил 5,5 ч.

Октябрь: С наступлением XXI века по 2010 год наблюдался спад по продолжительности солнечных дней. Так, в 2004 году, максимальная средняя продолжительность солнечного сияния была 4,7 ч. Это самый минимальный показатель за весь период исследования.

Ноябрь: За весь период серьезных изменений не наблюдалось. Максимальная продолжительность солнечного сияния была зафиксирована в 2016 году и составила 7,8 ч, а минимальная в 1990 – 3,7 ч.

Декабрь: Ситуация отличается от предыдущих месяцев. В декабре все максимумы по продолжительности солнечных дней наблюдались в XX веке.

3.2 Суммарная солнечная радиация

Суммарная солнечная радиация (Q) представляет собой совокупность прямой солнечной радиации, поступающей непосредственно от солнца, и рассеянной радиации (лучистой энергии, рассеянной облаками и самой атмосферой).

Суммарная радиация при безоблачном небе (возможная радиация) зависит от широты места, высоты солнца, характера подстилающей поверхности и прозрачности атмосферы, т.е. от содержания в ней аэрозолей и водяного пара. Увеличение содержания аэрозолей приводит к снижению прямой радиации и увеличению рассеянной. Последнее происходит также при увеличении альбедо подстилающей поверхности. Доля рассеянной радиации в суммарной при безоблачном небе составляет 20–25 %.

Информации о количестве прямой солнечной радиации также оказалось недостаточно. Но по тем данным, которые доступны, можно сделать вывод о увеличении её количества (рисунок 3.4).

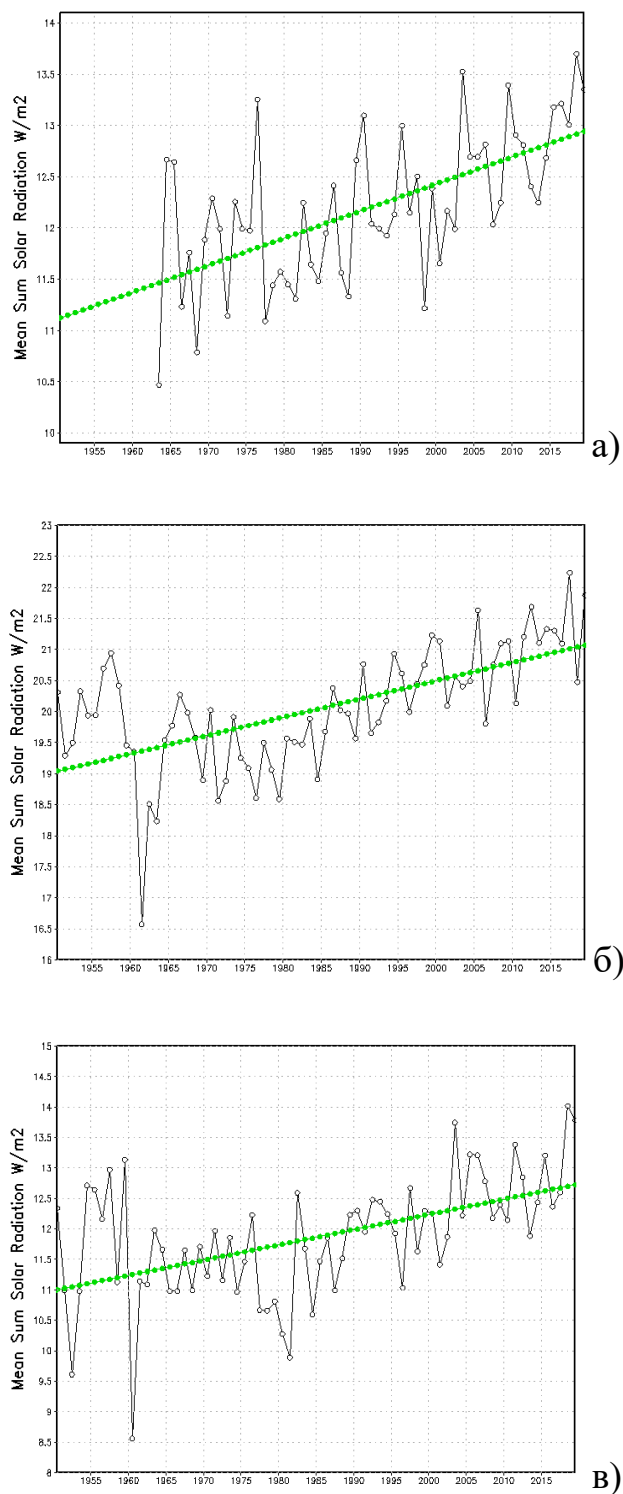


Рисунок 3.4 — Временной ход среднегодовой продолжительности солнечного сияния в Vlissingen (а), Гранада (б), Дрезден (в)

3.2.1 Мадрид

Проанализировано изменение радиации за весь доступный период наблюдений с 1950 по 2020 года.

На рисунке 3.5 для примера приведены графики временного хода для разных месяцев. Поскольку целью исследования было выявление изменений в последние десятилетия, связанные с глобальным потеплением, то основное внимание уделяется сравнению периодов до и после 1980-х годов.

Анализ изменения радиации для г. Мадрид позволяет сделать следующие выводы:

Январь: За весь период только 2 раза наблюдалась радиация, которая превысила 15 Вт/м^2 . Это произошло в 1982 и 2005 годах ($15,1$ и $15,2 \text{ Вт/м}^2$). В 1976 году наблюдалась максимальная средняя радиация – $12,9 \text{ Вт/м}^2$.

Февраль: Максимальные средние значения радиации были зафиксированы в 2012 и 2019 годах – $16,2 \text{ Вт/м}^2$.

Март: С 1995 года увеличилось количество максимумов радиации. Но также увеличились и минимумы радиации. Минимальное значение радиации наблюдалось в 2011 году – $1,8 \text{ Вт/м}^2$.

Апрель: С 1972 по 1994 года радиация не поднималась выше 9 Вт/м^2 . Наибольшие значения средней радиации наблюдались в 1970 и 2017 году – $21,1 \text{ Вт/м}^2$.

Май: Наименьшее среднее значения радиации наблюдалось в 1969 году – $16,8 \text{ Вт/м}^2$.

Июнь: С 1984 по 1992 года наблюдались наименьшие значения радиации. В 1984 – $26,8 \text{ Вт/м}^2$, в 1988 – $23,9 \text{ Вт/м}^2$ и в 1992 – $25,5 \text{ Вт/м}^2$.

Июль: За весь период исследования можно выделить 1969 год. Тогда среднее количество радиации за июль составило 22 Вт/м^2 .

Август: Наименьший максимум радиации наблюдался в 2020 году – $26,5 \text{ Вт/м}^2$. Наибольшее значение радиации за весь период был зафиксирован в 2013 году – 35 Вт/м^2 . В периоды с 1965 по 1976 и с 1995 по 2008 были спады радиации.

Сентябрь: Максимумы радиации наблюдались в 1971 и 2013 годах – $29,8 \text{ Вт/м}^2$. Наименьшее среднее значение радиации было зафиксировано в 1969 году – $14,2 \text{ Вт/м}^2$.

Октябрь: С 1995 года выросло количество максимальных значений радиации. Максимум наблюдался в 2020 году – $26,4 \text{ Вт/м}^2$.

Ноябрь: Ситуация схожа с октябрём. Также в 2020 году наблюдался максимум радиации за весь период исследования – $26,4 \text{ Вт/м}^2$.

Декабрь: С 1975 по 2009 года наблюдался спад радиации. В 1988 году наблюдалось наименьшее значение из максимумов радиации – $9,3 \text{ Вт/м}^2$.

3.2.2 Гранада

Проанализировано изменение радиации за весь доступный период наблюдений с 1950 по 2020 года.

На рисунке 3.6 для примера приведены графики временного хода для разных месяцев. Поскольку целью исследования было выявление изменений в последние десятилетия, связанные с глобальным потеплением, то основное внимание уделяется сравнению периодов до и после 1980-х годов.

Анализ изменения радиации для г. Гранада позволяет сделать следующие выводы:

Январь: За последние 20 лет увеличились максимумы радиации. Максимальные значения наблюдались в 2009 и 2013 годах – $16,7$ и $16,8 \text{ Вт/м}^2$.

Февраль: Также как и в январе, в феврале в XXI веке стало больше наблюдаться максимальных значений радиации. Максимумы наблюдались в 2003 и 2013 годах – $22,3 \text{ Вт/м}^2$.

Март: С 1985 года выросли средние значения радиации – радиация довольно часто стала достигать 21 Вт/м^2 . Ранее это случалось только 1 раз – в 1966 году ($21,2 \text{ Вт/м}^2$).

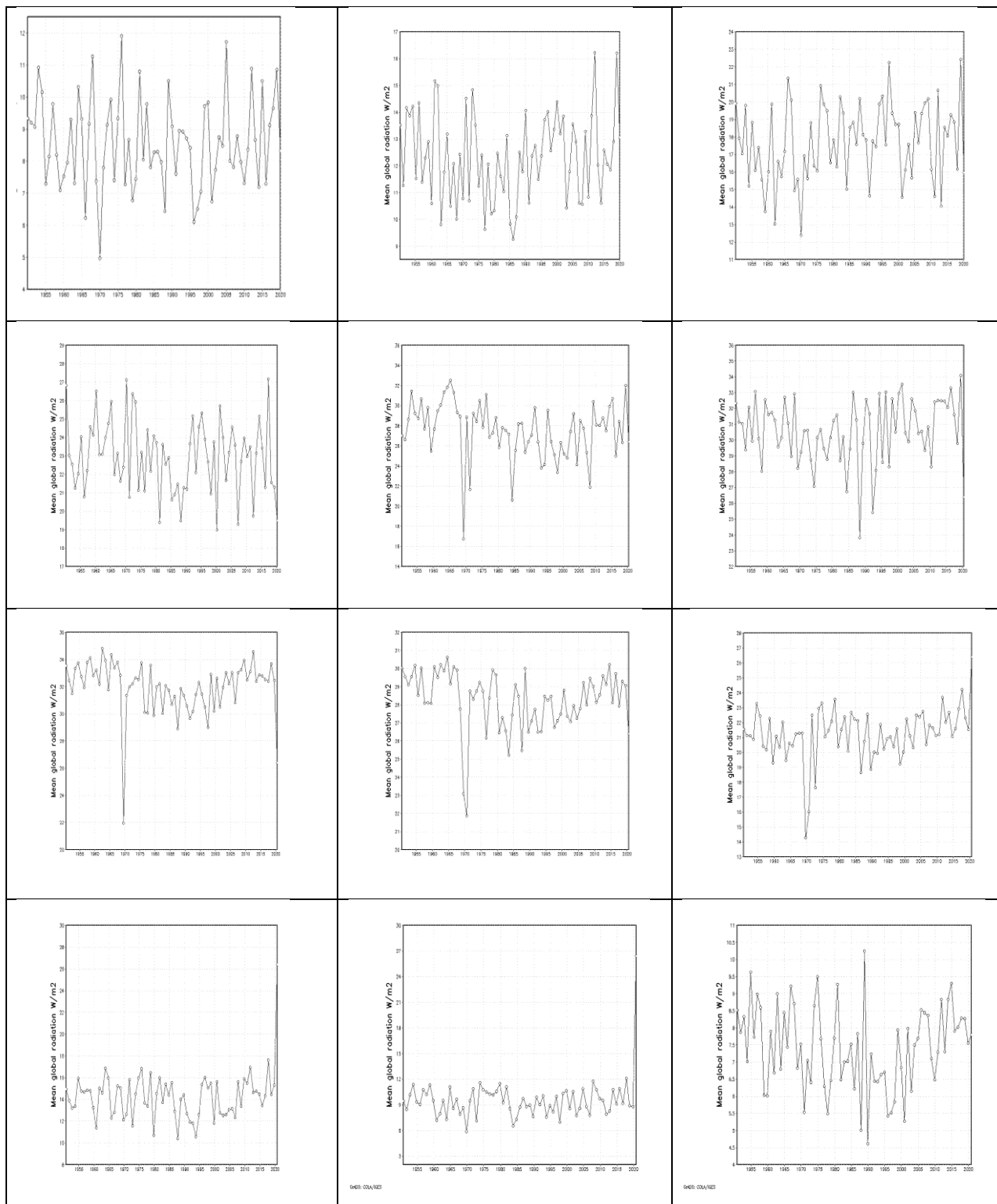


Рисунок 3.5 - Временной ход среднемесячной солнечной ход радиации в Мадриде

Апрель: С 1999 года увеличилось среднее значение радиации за счет сокращения количества минимальных значений.

Май: В 2020 году наблюдался резкий спад радиации. Максимальное значение радиации в этом году составило 12 Вт/м^2 . Хотя до этого максимумы радиации находились в диапазоне от 33 до 36 Вт/м^2 .

Июнь: Минимальное среднее количество радиации было зафиксировано в 1961 году – $18,5 \text{ Вт/м}^2$.

Июль: Ситуация аналогична июню.

Август: В период с 1986 по 2008 года наблюдались наименьшие значения радиации.

Сентябрь: С 1985 года выросла среднее количество радиации.

Октябрь: Глобальных изменений не происходило.

Ноябрь: За последние 30 лет выросли средние значения радиации. Это связано с увеличением максимумов и сокращением минимумов радиации.

Декабрь: С 2007 года радиация резко повысилась. Максимальные значения наблюдались в 2013 и 2018 годах – $13,8$ и $14,1 \text{ Вт/м}^2$.

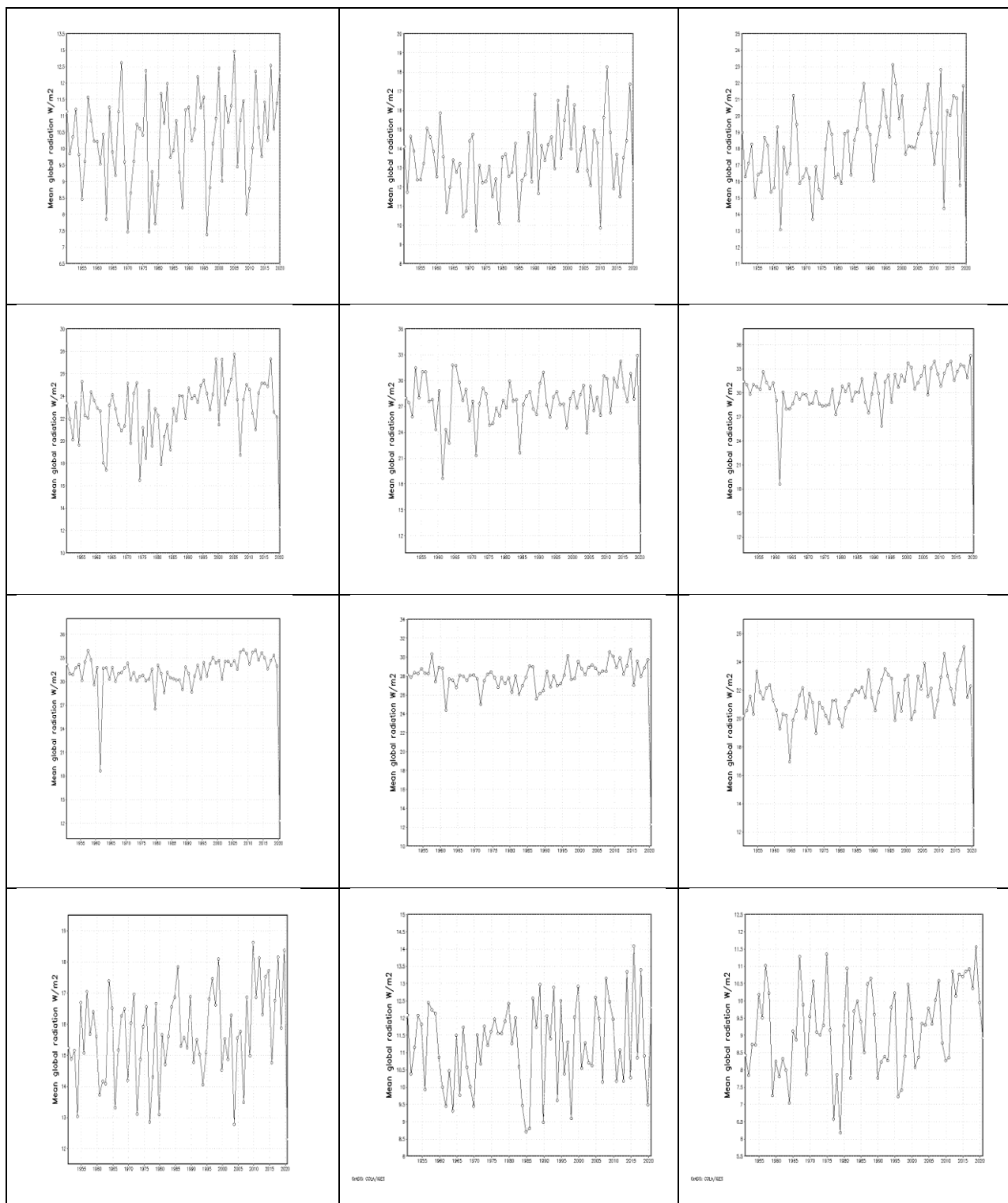


Рисунок 3.6 - Временной ход среднемесячной солнечной радиации в Гранаде

Заключение

В 2021 году в Глазго Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и МГЭИК подготовили отчеты о нынешнем состоянии и вероятных тенденций развития климата в зависимости от выбросов ПГ.

Концентрации парниковых газов в атмосфере в 2020-22 гг. продолжили увеличиваться. В 2015 году объем CO₂ в атмосфере составил 400 частей на миллион. В 2020 году эта величина была 413,2 млн (148% от доиндустриального периода – 1750 г). В 2020 году также максимумов достигли концентрации метана и закиси азота.

В 2021 году средняя глобальная температура на $1,09 \pm 0,14$ °C выше среднего значения температуры за период с 1850 по 1900 гг.

Аномальная высокая температура наблюдалась 2021 году в Сицилии около г. Сиракузы. 11 августа была зафиксирована температура в 48,7 °C, что является европейским рекордом. Также рекордно высокие температуры были зафиксированы в Испании, Турции и Тунисе. Во многих регионах наблюдались крупные лесные пожары.

Эксперты ВМО считают, что выбросы парниковых газов продолжатся, температура продолжит расти. А так как CO₂ является долгоживущим газом, даже при полном сокращении выбросов, уровень температуры останется неизменным в течение нескольких десятилетий. Продолжится рост числа экстремальных погодных явлений, таких как жара, обильные дожди, ураганы и т.д. Это, в свою очередь, приведет к еще более значимым колебаниям температуры.

Так же, в будущем не исключено, что эффективность поглотительной способности у океанов и земли может снизиться, и они не смогут исполнять роль буфера в борьбе со значительным повышением температуры. Такой же позиции придерживаются специалисты и МГЭИК.

Сценарии, построенные на основе обновленной информации о физической основе изменения климата, показали, что глобальная температура приземного слоя атмосферы будет продолжать повышаться по крайней мере до середины XXI в.

Как итог, было выявлено, что почти во всех пунктах прослеживалось повышение температуры со временем, что связано с антропогенным воздействием на окружающую среду. Больше всего среднегодовая температура выросла в центральной Европе, в таких городах как Любляна, Загреб и Вена. Меньше всего – в Валентии, Барселоне и Перьпиньяне.

Минимальная температура сильнее всего изменилась в Инсбруке. В Барселоне, также как среднегодовая температура, минимальная практически не изменилась.

Максимальная температура сильнее всего выросла в таких городах как Барселона, Ден-Хелдер и Влиссенген. Минимальные значения коэффициента линейного тренда были замечены в Центральной Европе - Сегед, Нови-Сад и Белград.

Информации о количестве прямой солнечной радиации оказалось не совсем достаточно. Но по тем данным, которые доступны, можно сделать вывод о увеличении её количества. Сильнее всего изменение радиации видно в таких городах как Влиссенген, Гранада и Дрезден.

К сожалению, в анализируемых данных, солнечное сияние имело достаточный период наблюдений только в нескольких городах: Хоэнпайсенберг, Влиссенген, Любляна, Мадрид, Валенсия, Женева, Гранада и Сегед.

Во всех населённых пунктах наблюдается увеличение продолжительности солнечного сияния, кроме Хоэнпайсенберга. Сильнее всего изменения видны в Любляне, Гранаде и Сегеде.

Список используемых источников

1. Бондаренко Л.В. Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова. 2018. №2 (98). [Электронный ресурс]/ Л.В. Бондаренко, О.В. Маслова, А.В. Белкина, К.В. Сухарева.- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnoe-izmenenie-klimata-i-ego-posledstviya> (дата обращения 11.02.2022)
2. Гайнуллин Р.Ф. Физика атмосферы и глобальные изменения климата // Научный журнал. 2016. №4 (5). [Электронный ресурс]/ Р.Ф. Гайнуллин, М.Е. Яруллина.- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/fizika-atmosfery-i-globalnye-izmeneniya-klimata> (дата обращения 11.02.2022)
3. Галюжин С. Д. Проблемы изменения климата // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. №2.[Электронный ресурс]/ С.Д. Галюжин, О.М. Лобикова О. М. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-izmeneniya-klimata>(дата обращения 11.02.2022)
4. Глаз Н. В. Изменение климата // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. №4 (48). [Электронный ресурс]/ Н.В. Глаз, А.А. Васильев. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-klimata>(дата обращения 11.02.2022)
5. Задорожная Т.Н. Климатическая изменчивость температуры воздуха летнего периода в приполярных районах европейской территории // Science Time. 2018. №9 (57). [Электронный ресурс]/ Закусилов В.П. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/klimaticheskaya-izmenchivost-temperature-vozduha-letnego-perioda-v-pripolyarnyh-rayonah-evropeyskoy-territorii> (дата обращения: 07.06.2022).
6. Замолотчиков Д.Г. Естественная и антропогенная концепция современного потепления климата. 2020 Т.83 №2. [Электронный ресурс]/ Д.Г. Замолотчиков. - Режим доступа: file:///C:/Users/ффф/Downloads/Zamolodchikov_13_Estestvennaya_i_antropogennaya_konceptii_potepleniya_klimata.pdf (дата обращения 11.02.2022)
7. Картунова Л.С. Глобальные изменения климата Земли: потепление или похолодание? // Наука, образование и культура. 2019. №2 (36).

- [Электронный ресурс]/ Л.С Картунова, Г.С. Цветков. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-izmeneniya-klimata-zemli-poteplenie-ili-poholodanie> (дата обращения 11.02.2022)
8. Картунова Л.С Изменения климата, причины и последствия // Наука, образование и культура. 2018. №1 (25). [Электронный ресурс] Л.С Картунова. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-klimata-prichiny-i-posledstviya> (дата обращения: 07.06.2022).
9. Кочуров Б.И. Изменения климата и пандемия коронавируса // Проблемы региональной экологии. 2021. №5. [Электронный ресурс]/Б.И. Кочуров, М.М. Шац, Ю.Б. Скачков, В.В. Черная, В.А. Лобковский, Ю.И. Ермакова. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-klimata-i-pandemiya-koronavirusa> (дата обращения: 07.06.2022).
10. Котляков В. М. Глобальные изменения за последний ледниково-межледниковый цикл [Текст] / В. М. Котляков, К. Лориус // Изв. АН СССР. – 1992. – № 1. – С. 7–14.
11. Красильникова В.В. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2 (368). [Электронный ресурс]/ В.В. Красильникова. - Режим доступа: <http://method.meteorf.ru/publ/tr/tr368/07.pdf> (дата обращения: 07.06.2022).
12. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: доказательная база и неопределенность оценок // Наука и инновации. 2017. №163. [Электронный ресурс]/ В.Ф. Логинов. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-i-regionalnye-izmeneniya-klimata-dokazatel'naya-baza-i-neopredelennost-otsenok> (дата обращения: 07.06.2022).
13. Логинов В.Ф. Паузы в изменении среднемесячной температуры в северном и южном полушариях и их возможные причины //

- Гидросфера. Опасные процессы и явления . 2021. №2.
[Электронный ресурс]/ Логинов В.Ф, Микуцкий В.С, Бровка Ю.А-
Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pauzy-v-izmenenii-srednemesyachnoy-temperatury-v-severnom-i-yuzhnom-polushariyah-i-ih-vozmozhnye-prichiny> (дата обращения: 07.06.2022).
14. Любушин А.А. Циклические вариации климата: анализ данных, сценарии, прогноз // Глобальные экологические процессы: Мат. Межд. научн. конф.[Текст]/ Под ред. В.В. Семакина. М.: Academia, 2012. С. 66-71
15. Снакин В.В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. 2019. №2.[Электронный ресурс]/ В.В. Снакин. -Режим доступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-izmeneniya-klimata-prognozy-i-realnost>
16. Изменение климата. Новости ООН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.un.org/ru/news/topic/climate-change> (дата обращения: 07.06.2022)
17. Киотский протокол. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Киотский_протокол (дата обращения: 07.06.2022)
18. Климатический центр Росгидромета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/novosti/novosti-partnerov/740-nature-naskolko-goryachej-stanet-zemlya-k-2100-godu> (дата обращения: 07.06.2022)
19. Климат 2020: экстремальная погода – новая норма. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hightech.plus/2020/01/12/klimat-2020-ekstremalnaya-pogoda---novaya-norma> (дата обращения: 07.06.2022)
20. Официальный сайт Всемирной метеорологической организации. Изменение климата: угроза благополучию человека и здоровью планеты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- <https://public.wmo.int/ru/media/> пресс-релизы/ (дата обращения: 07.06.2022)
- 21.Официальный сайт Всемирной метеорологической организации.
ВМО: Новый доклад о климате — это призыв к срочным действиям. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://public.wmo.int/ru/media/пресс-релизы/> (дата обращения: 07.06.2022)
- 22.Пархоменко В.П. Проблемы изменения и прогнозирования климата // ЭП. 2020. №10 (152). [Электронный ресурс]/В.П. Пархоменко.- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-izmeneniya-i-prognozirovaniya-klimata> (дата обращения: 07.06.2022).
- 23.Рамочная Конвенция Организации Объединённых Наций об изменении климата. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/2133066/> (дата обращения: 07.06.2022).
- 24.Шац М.М. Основные подходы при оценке специфики изменения современного климата // Известия АО РГО. 2021. №1 (60). [Электронный ресурс]/ М.М. Шац, Ю.Б. Скачков. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-podhody-pri-otsenke-spetsifiki-izmeneniya-sovremennogo-klimata> (дата обращения: 07.06.2022).
- 25.BBC news. Русская служба. Потепления на Земле бывали и раньше. Но они не были глобальными. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features-49125464> (дата обращения: 07.06.2022).
- 26.Subscribe. Официальные документы. МГЭИК. Доклады МГЭИК. Руководства МГЭИК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://subscribe.ru/archive/culture.people.awakening/200703/03001029.html> (дата обращения: 07.06.2022).
- 27.Website of the European Climate Assessment & Dataset project. [Электронный ресурс] - Режим доступа:<https://www.ecad.eu/> (дата обращения: 07.06.2022).

