

Влияние антропогенных факторов на тепловое загрязнение городской среды

А. С. Горшков, канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Н. И. Ватин, доктор техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
П. П. Рымкевич, доктор техн. наук, профессор, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

Ключевые слова: Санкт-Петербург, теплоснабжение, электроснабжение, транспорт, население, солнечная активность, погода, климат, изменение климата, глобальное потепление

Климат оказывает значительное влияние на потребление тепловой энергии в зданиях. В статье представлены основные результаты исследования [1], опубликованного ранее в специализированном издании «Строительство уникальных зданий и сооружений». Объектом исследования является климат Санкт-Петербурга. Цель исследования состоит в оценке изменений климата в Санкт-Петербурге в период с 1743 по 2018 гг. и выявлении основных источников теплового загрязнения городской среды.

Часть 1

1. Введение

В последние несколько десятилетий вопросам изменения климата посвящено значительное количество исследований [2-6]. Климат меняется и это обстоятельство оказывает влияние на многие сферы человеческой деятельности, в том числе на строительную отрасль. Из графика, представленного на *Рисунке 1*, следует, что в течение отопительного периода 2019/2020 гг. наиболее низкая среднесуточная температура наружного воздуха в Санкт-Петербурге составила минус 5,3 °С (зафиксирована 05.02.2020 г. [7]). При этом расчетная температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для климатических условий Санкт-Петербурга принимается равной минус 24 °С.

Климат оказывает значительное влияние на энергопотребление зданий. Чем ниже температура наружного воздуха, тем больше требуется подвести тепловой энергии к зданиям для поддержания в них комфортных параметров

микроклимата. Так или иначе вся тепловая энергия, вырабатываемая на различных источниках (ТЭЦ и котельных) и расходуемая в дальнейшем на поддержание в зданиях комфортных условий эксплуатации, рассеивается в окружающую среду, что способствует повышению температуры наружного воздуха, т.е. приводит к тепловому загрязнению воздушного бассейна города.

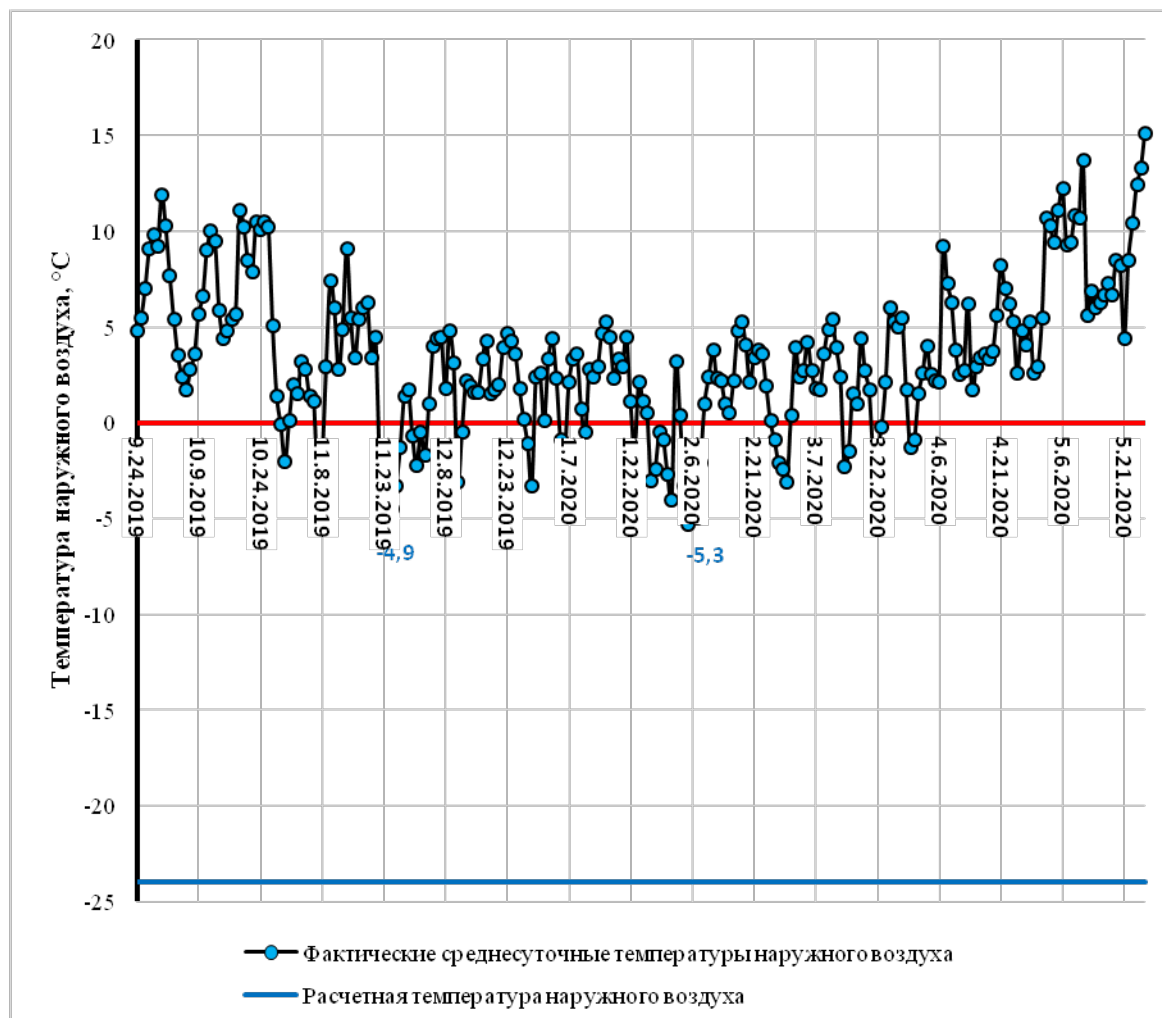


Рисунок 1. Характер изменения среднесуточной температуры наружного воздуха в Санкт-Петербурге в течение отопительного периода 2019/2020 гг.

Помимо потребителей тепловой энергии основными источниками теплового загрязнения атмосферы в населенных пунктах становятся: электроприемные устройства (бытовые и промышленные) и транспорт. Отмеченные факторы связаны с деятельностью современного жителя, которому для комфортной проживания и работы требуется значительное количество энергии.

Таким образом, в местах плотного заселения людей не только климат оказывает влияние на население, но имеет место и обратная зависимость, — климата от деятельности жителей крупных населенных пунктов.

В рамках настоящего исследования рассмотрена динамика изменения климата в Санкт-Петербурге. Для этого использованы данные, полученные из открытого источника [7].

2. Анализ изменения климата в Санкт-Петербурге

2.1 Анализ изменения среднегодовой температуры воздуха

Санкт-Петербург является самым северным мегаполисом с численностью населения, превышающим пять миллионов человек.

Динамика изменения среднегодовой температуры наружного воздуха в Санкт-Петербурге по данным наблюдений с 1743 по 2018 гг., а также линейная аппроксимация полученного массива данных, представлены на *Рисунке 2*.

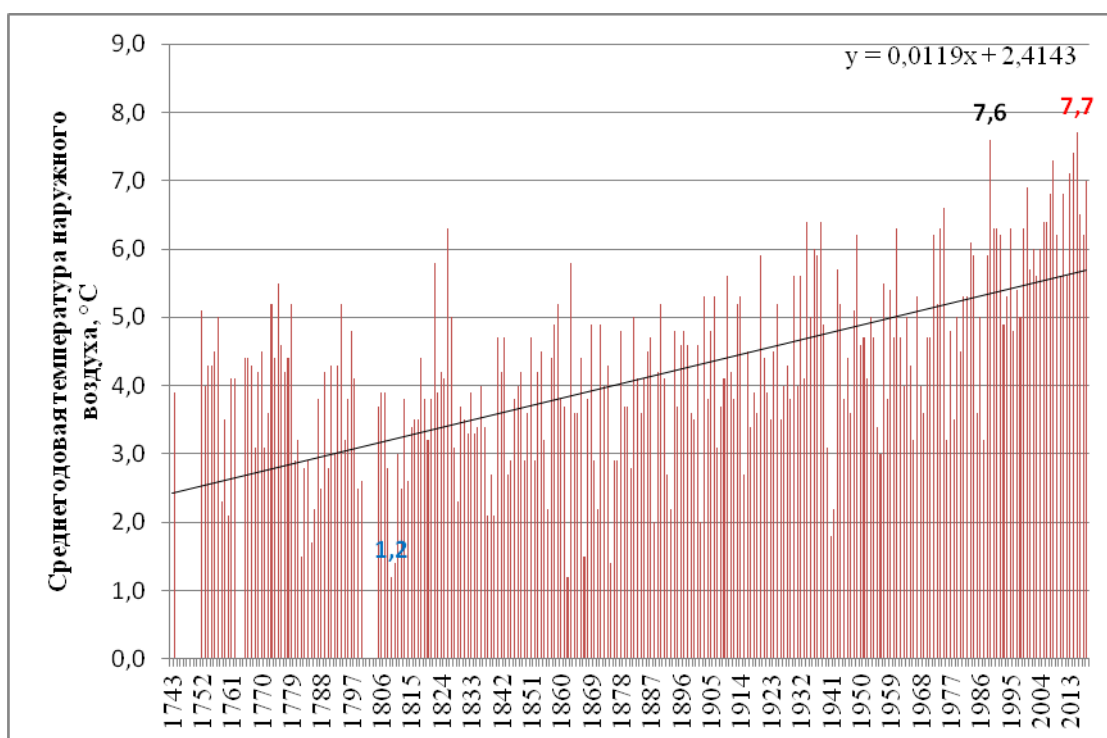


Рисунок 2. Динамика изменения среднегодовой температуры наружного воздуха

Из данных, представленных на *Рисунке 2*, прослеживается возрастающий тренд изменения среднегодовой температуры наружного

воздуха. Пропуски ряда данных на *Рисунке 2* обусловлены полным или частичным отсутствием исходных данных в указанные периоды. В частности для периодов с 1746 по 1750 гг., а также с 1801 по 1804 гг. данные отсутствуют по всем месяцам, в 1745, 1751, 1763, 1764 отсутствуют данные по нескольким месяцам. Вне зависимости от количества пропущенных месяцев в году указанные периоды были исключены из дальнейшего анализа.

Примечание. Следует также иметь в виду, что до 1918 года в России действовал юлианский календарь. Поэтому массивы данных до 1918 и после 1918 года могут оказаться со смещением.

На *Рисунках 3-14* показаны аналогичные массивы данных, собранных за рассматриваемый период времени (с 1743 по 2018 гг.) для различных месяцев календарного года (соответственно с января по декабрь).

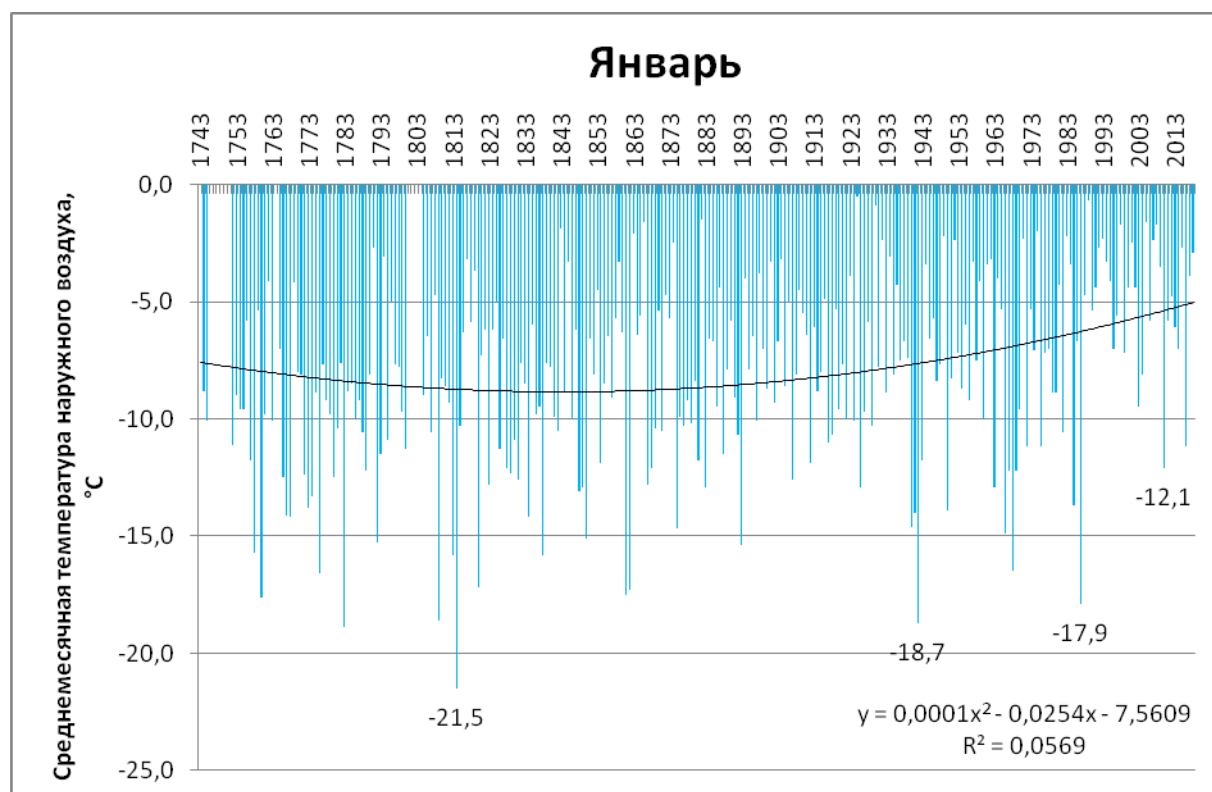


Рисунок 3. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в январе

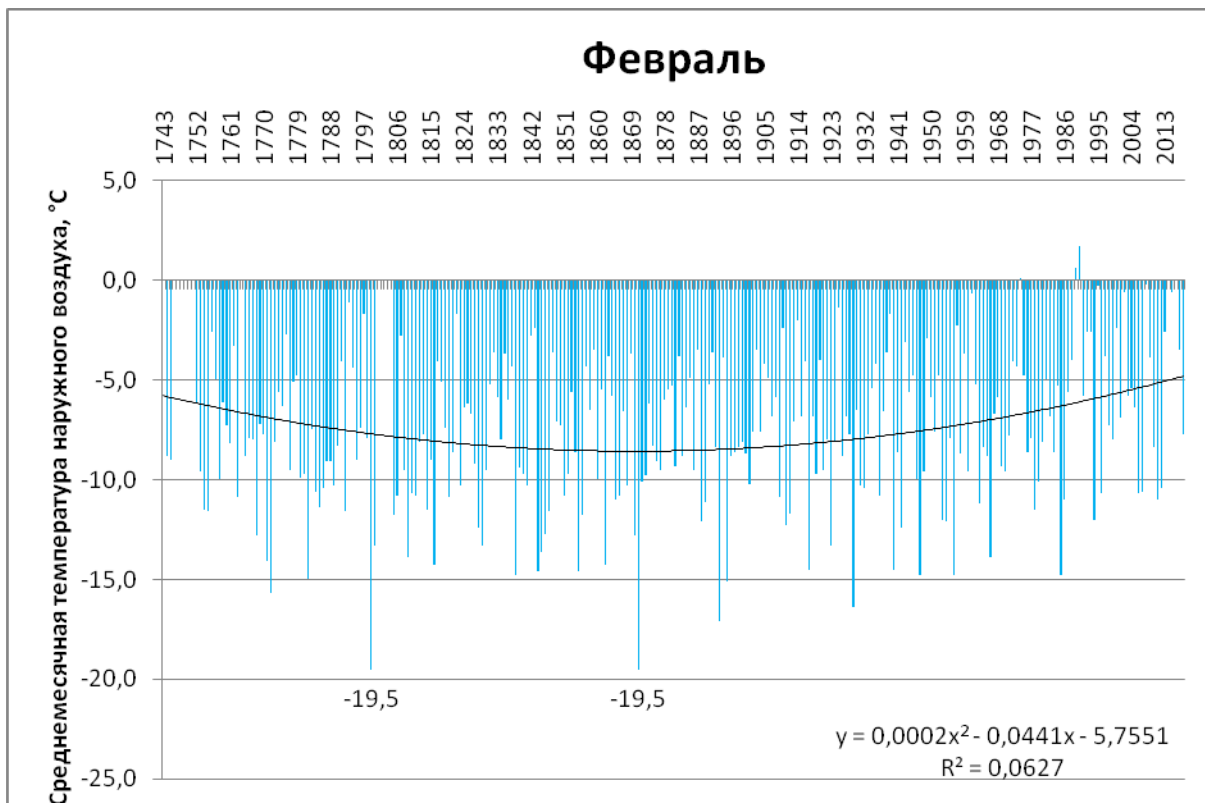


Рисунок 4. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в феврале

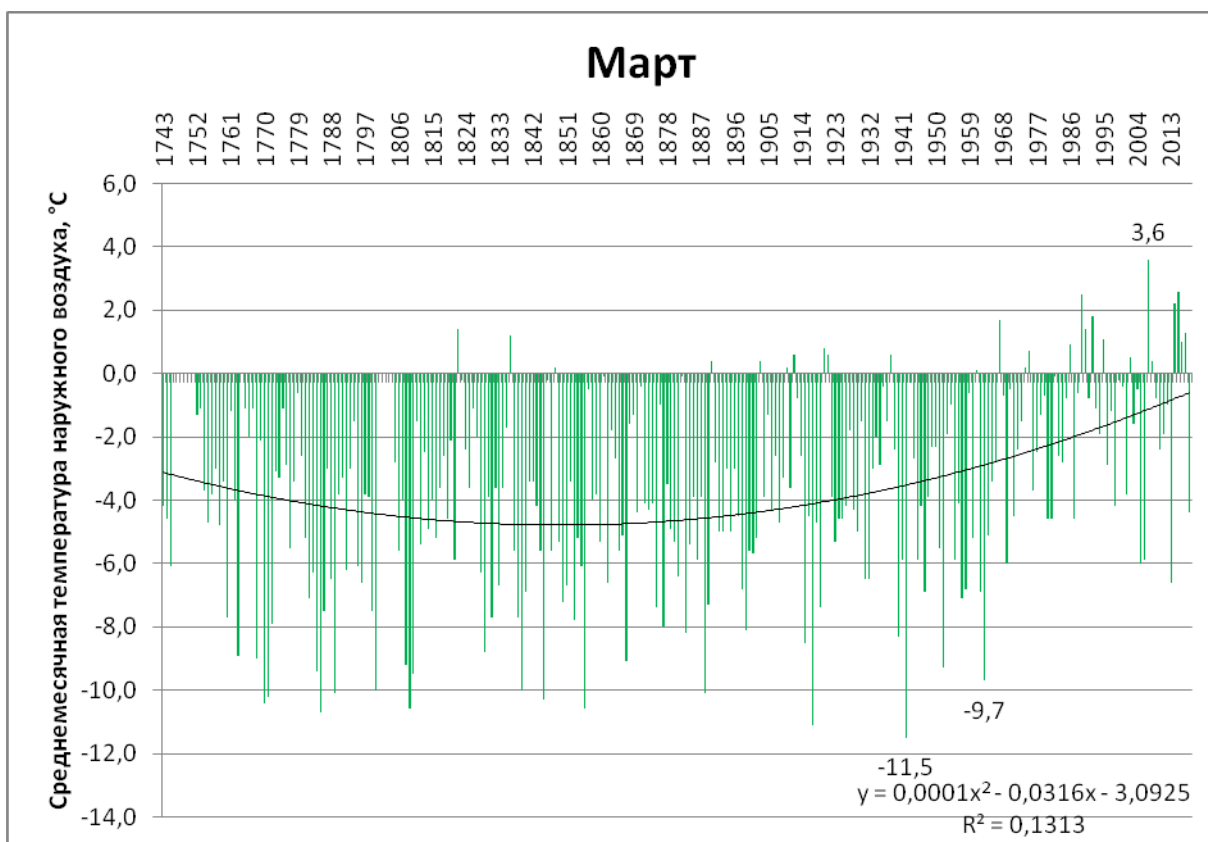


Рисунок 5. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в марте

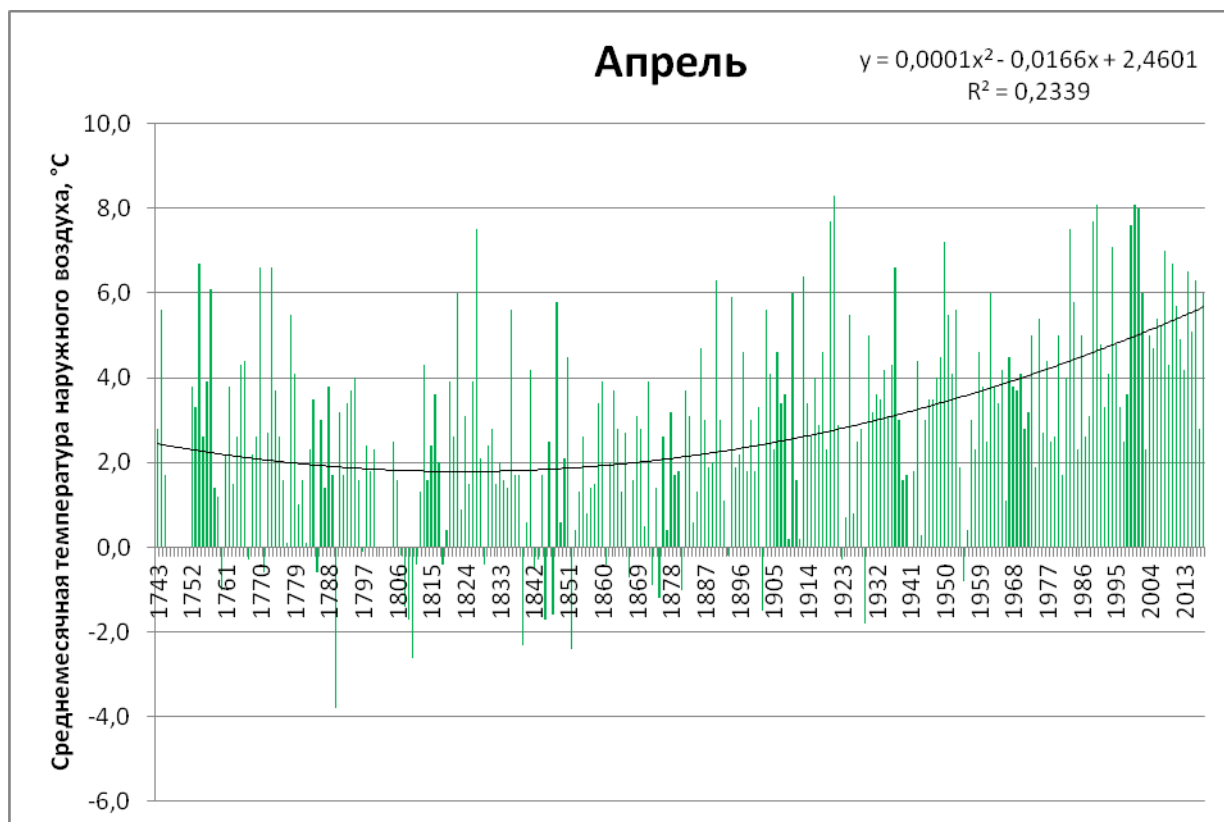


Рисунок 6. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в апреле

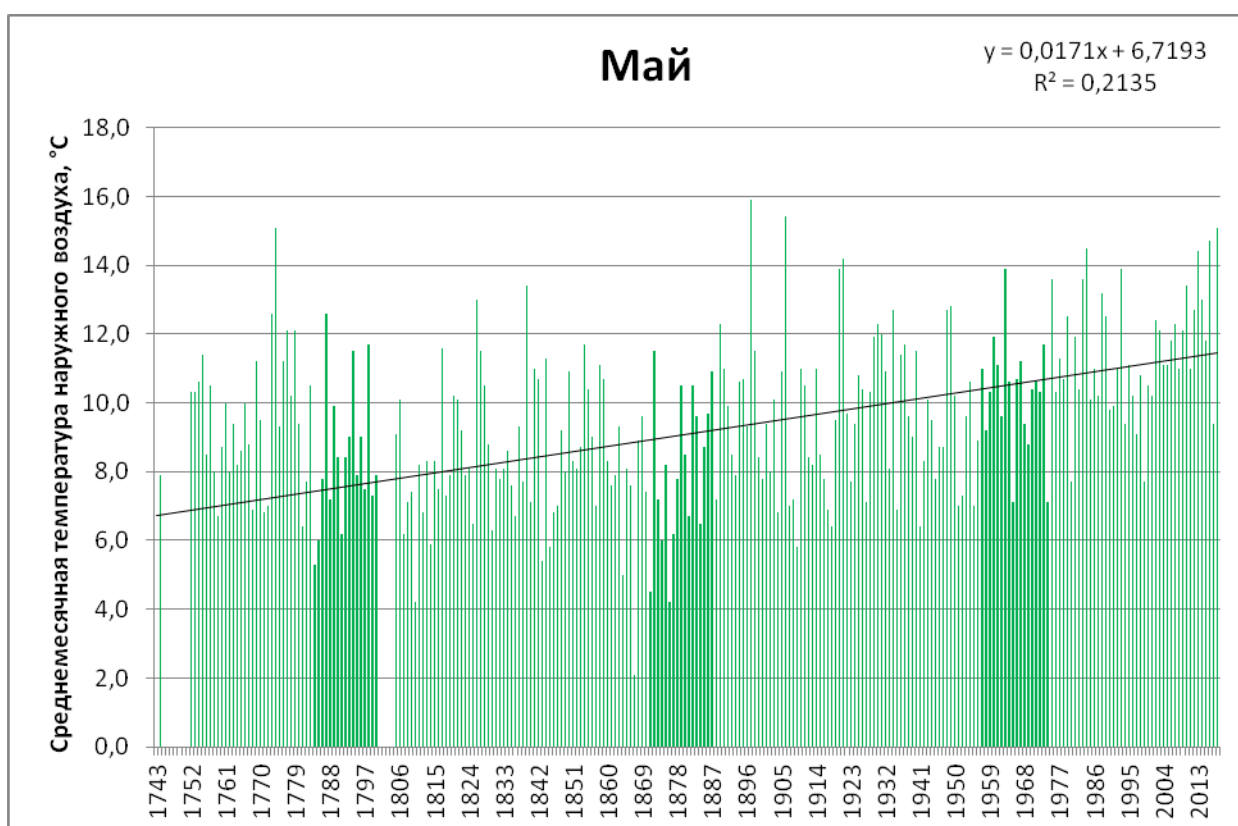


Рисунок 7. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в мае

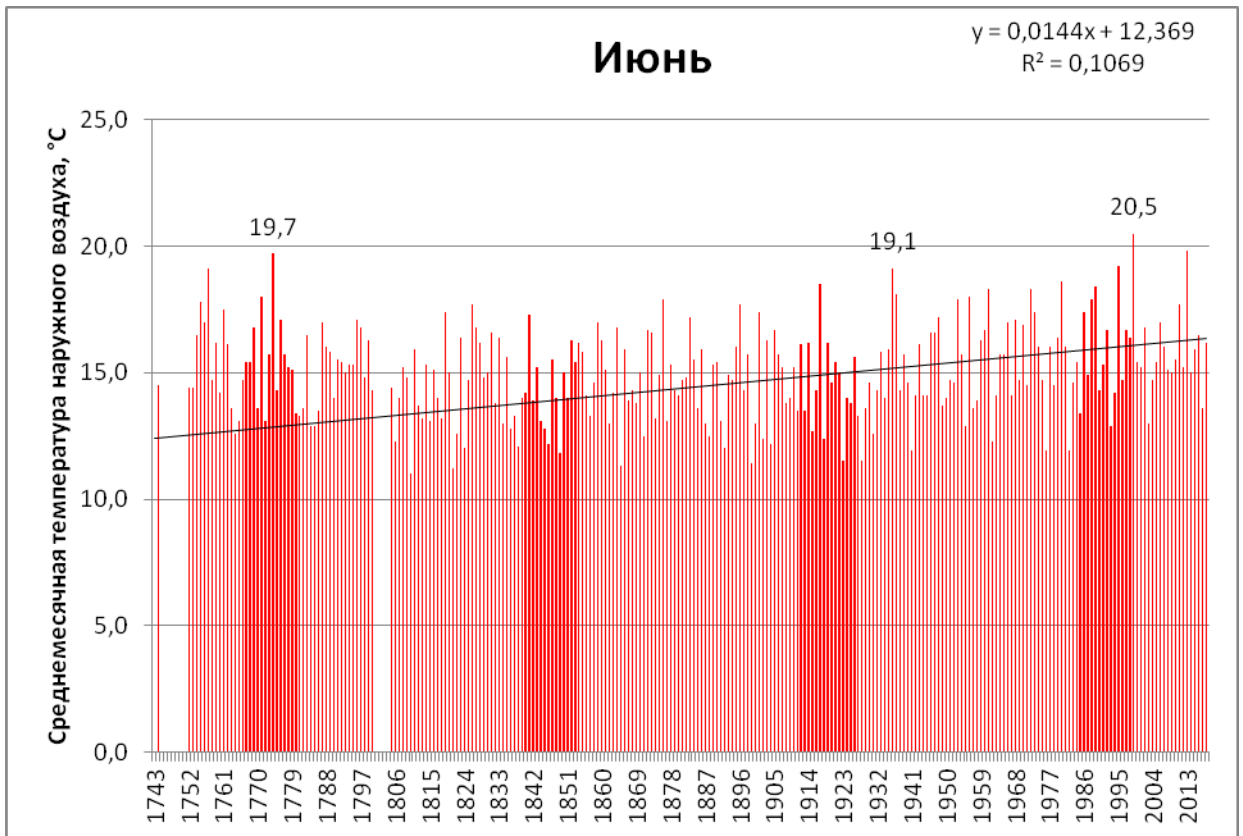


Рисунок 8. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в июне

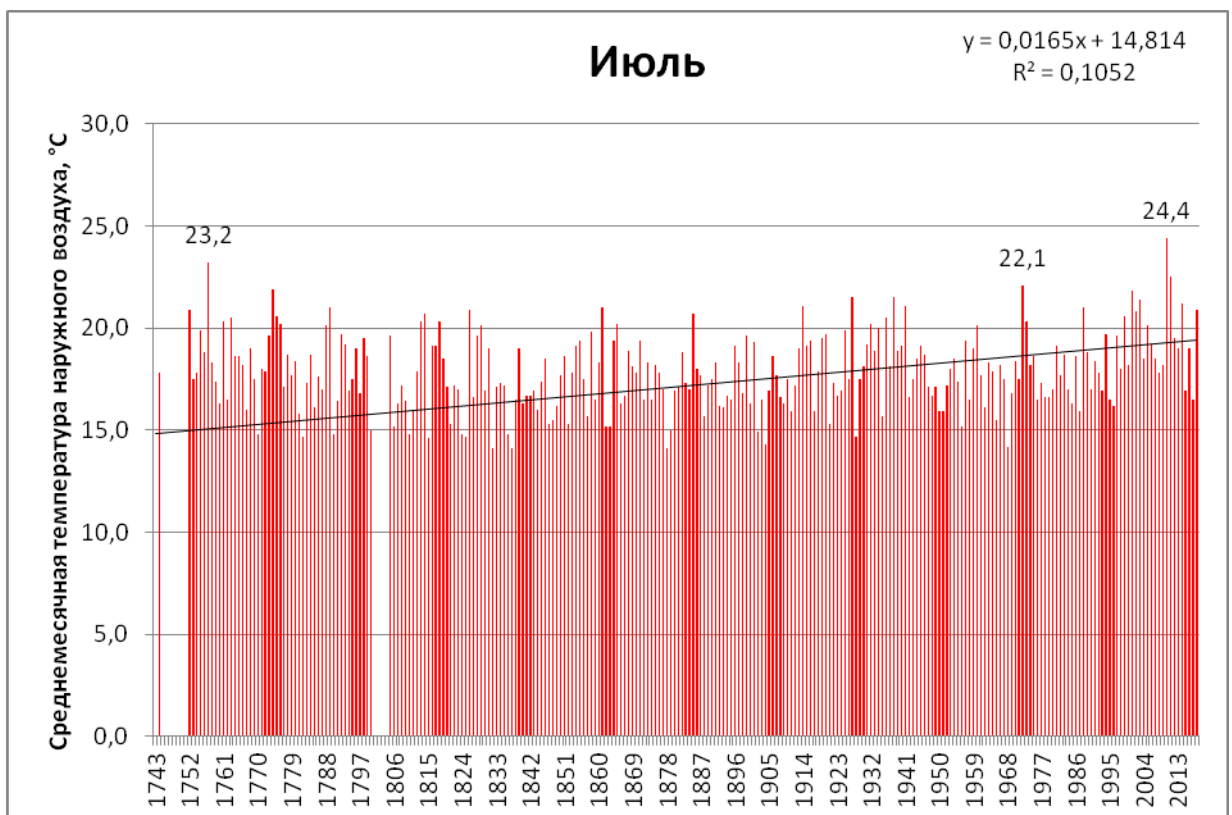


Рисунок 9. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в июле

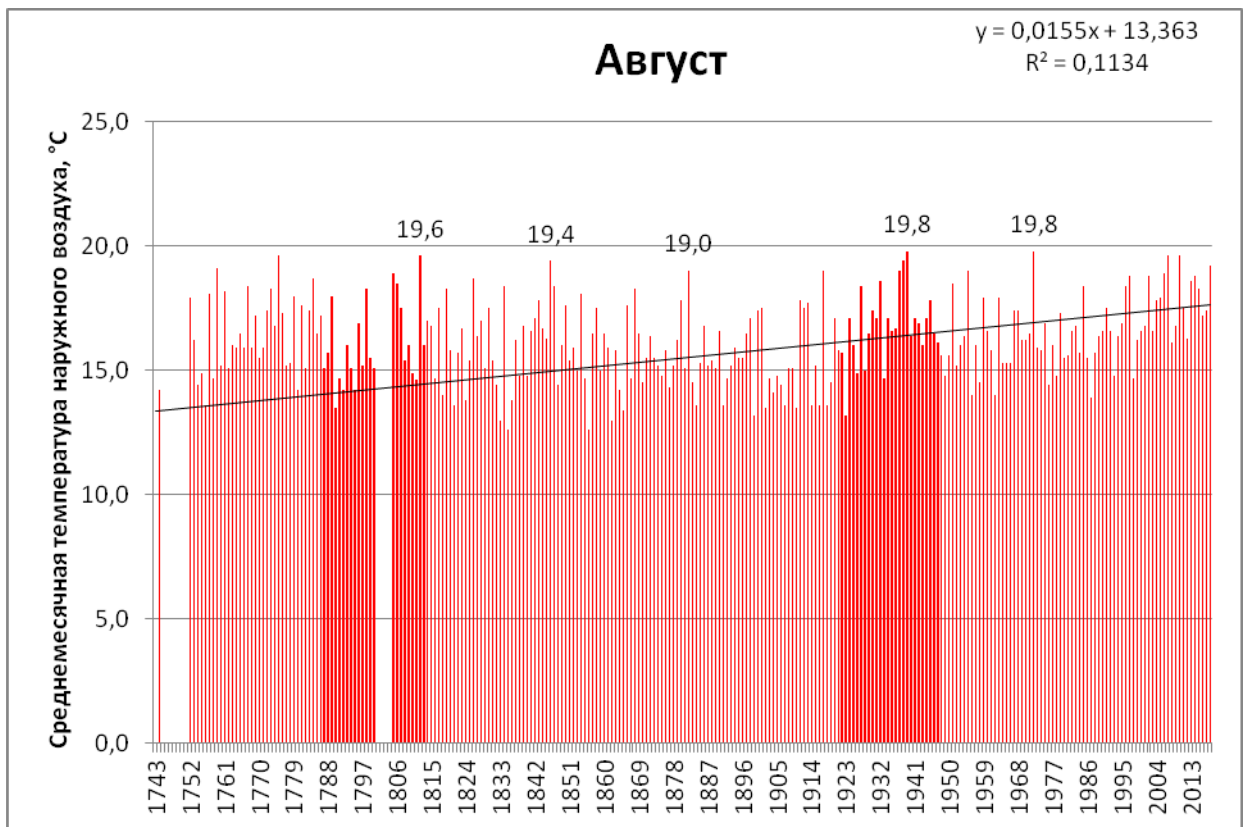


Рисунок 10. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в августе

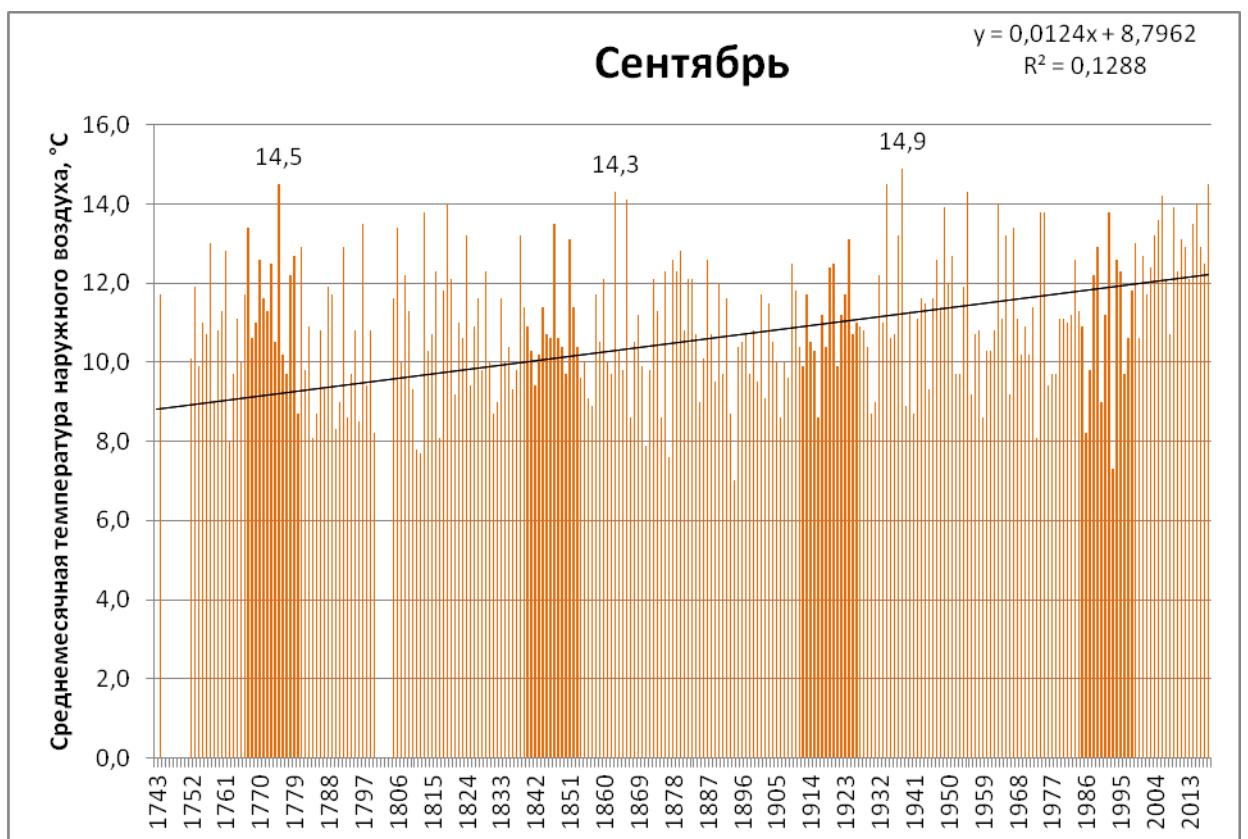


Рисунок 11. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в сентябре

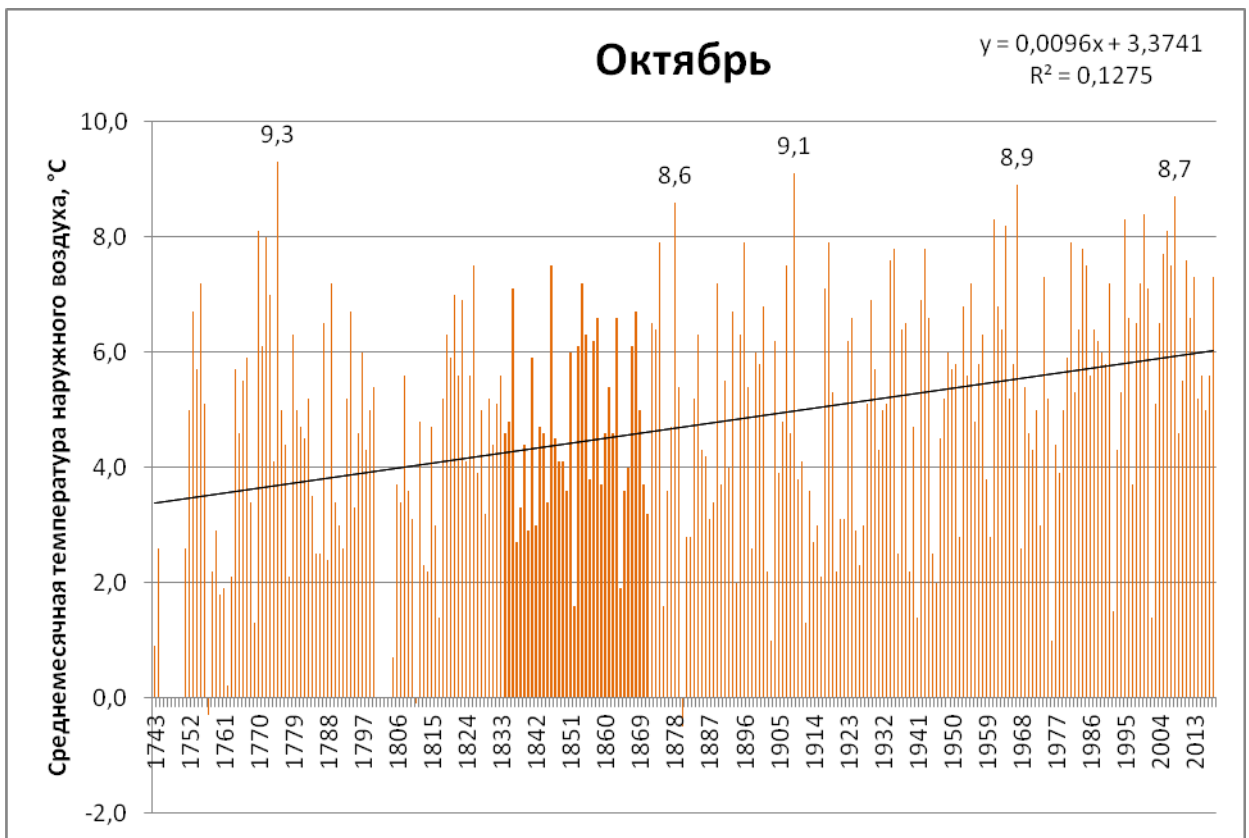


Рисунок 12. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в октябре

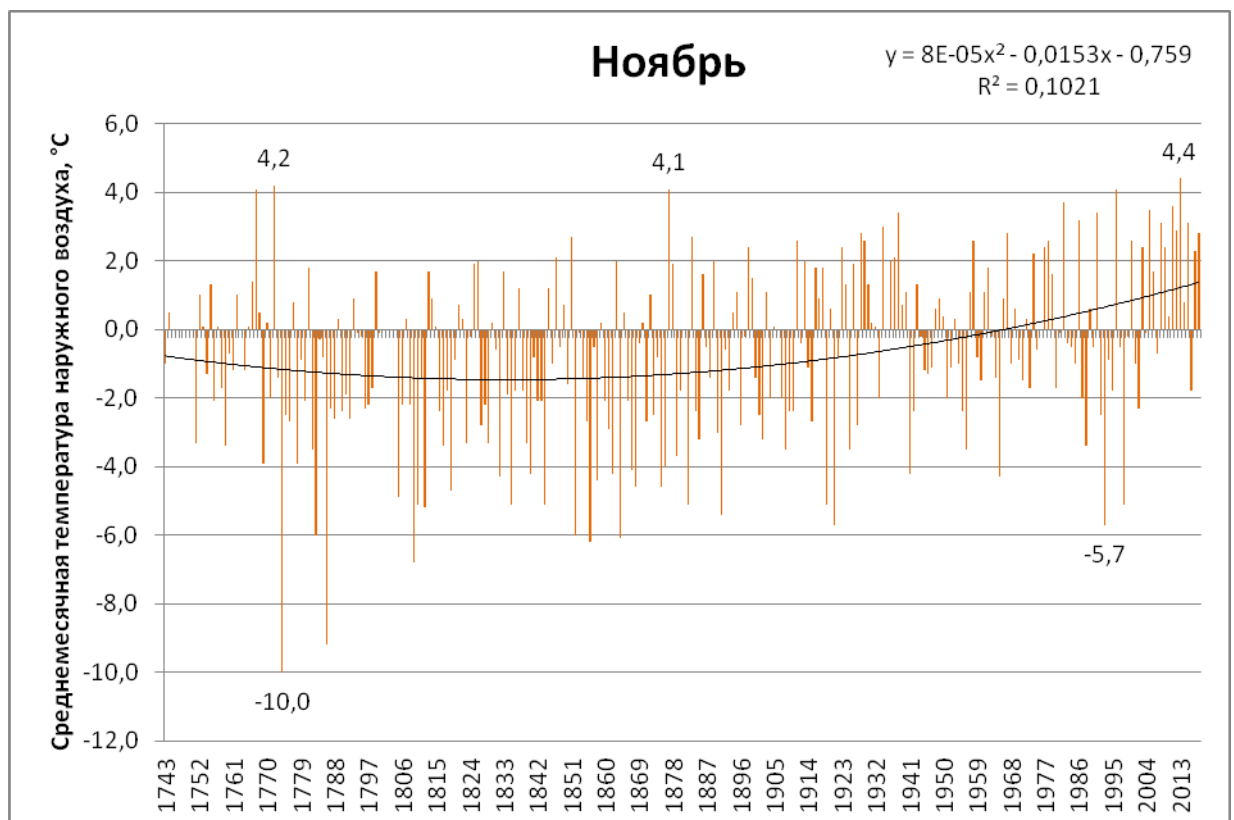


Рисунок 13. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в ноябре

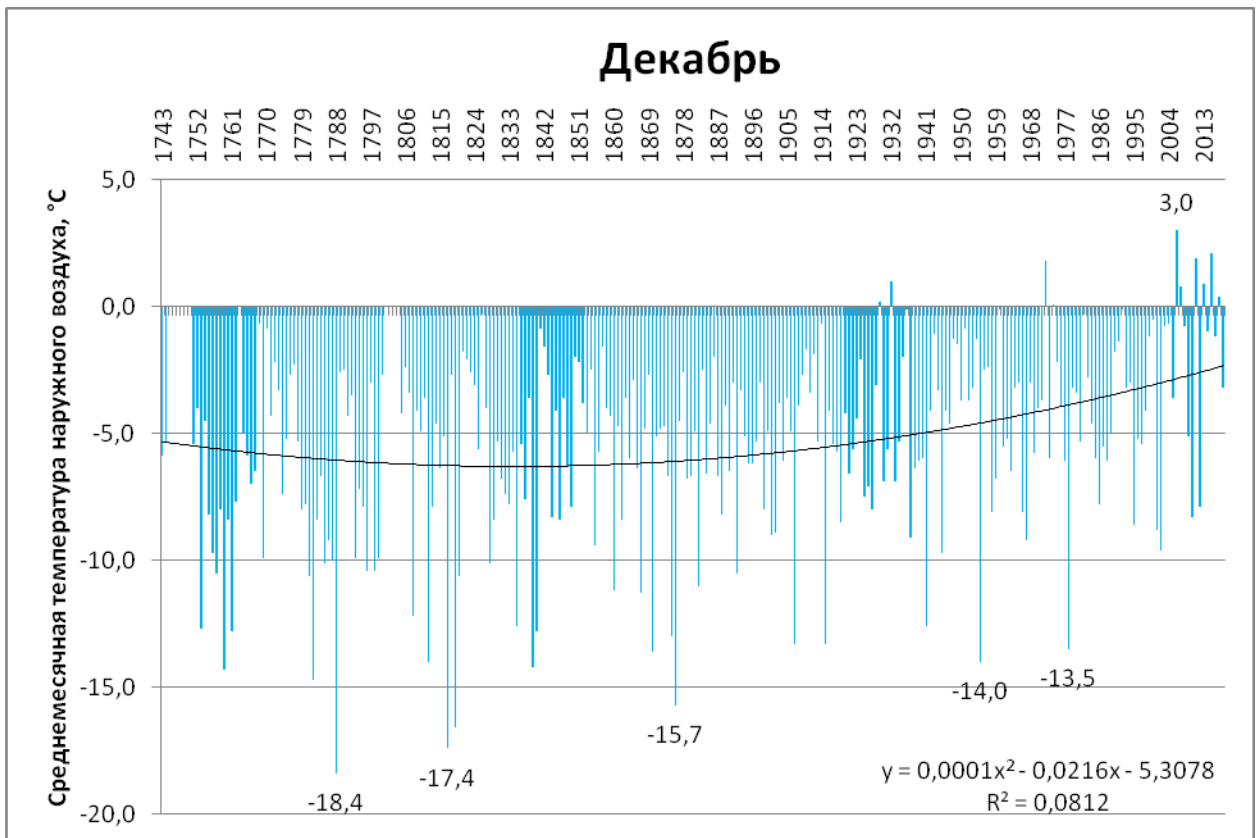


Рисунок 14. Динамика изменения среднемесячной температуры наружного воздуха в ноябре

Данные, представленные на *Рисунках 3-14*, показывают общий для всех месяцев года, – возрастающий, тренд изменения температуры наружного воздуха. Из этих же данных следует, что в холодные месяцы изучаемые массивы данных наиболее приближенно описывает полиномиальная линия тренда (степени 2), в более теплые – линейная. Однако, во всех случаях коэффициент детерминации (R^2) линий тренда, характеризующий меру разброса случайной величины относительно ее математического ожидания, оказывается крайне малым (менее 0,25). В этой связи более интересным представляется анализ более продолжительных временных интервалов.

Часть 2

2.2 Анализ временных интервалов

На *Рисунке 15* показана диаграмма изменения среднегодовой температуры наружного воздуха, усредненная за 50-ти летние интервалы.

Деление изучаемого массива данных на более короткие временные интервалы (25, 10 и 5 лет) представлена на *Рисунках 16-18* соответственно.

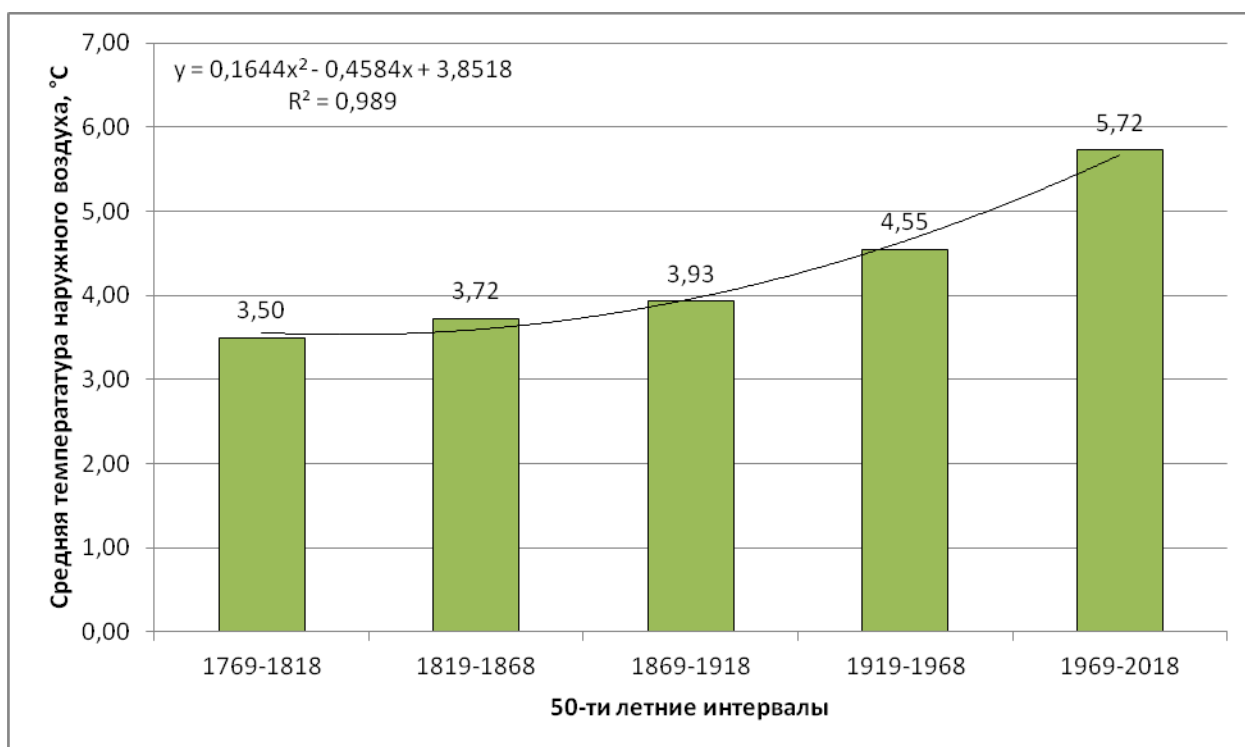


Рисунок 15. Изменение среднегодовой температуры наружного воздуха с дифференциацией массива данных на 50-ти летние интервалы

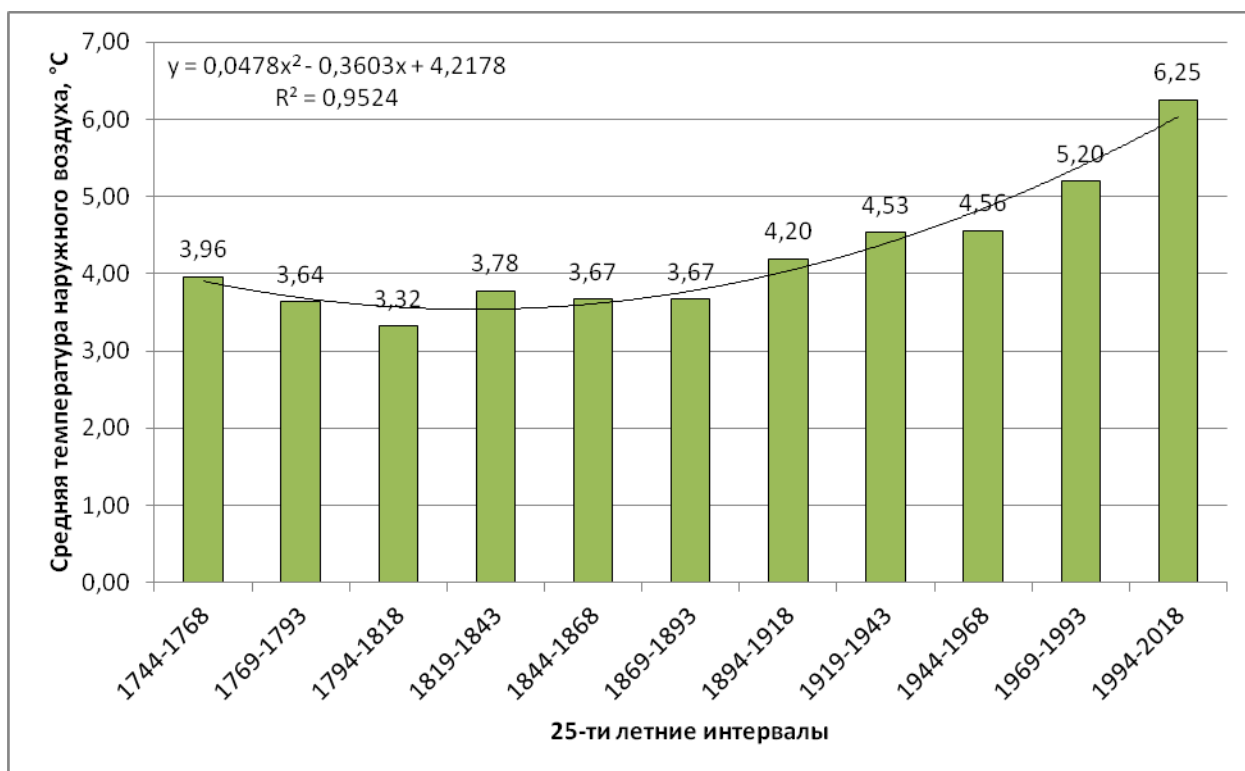


Рисунок 16. Изменение среднегодовой температуры наружного воздуха с дифференциацией массива данных на 25-ти летние интервалы

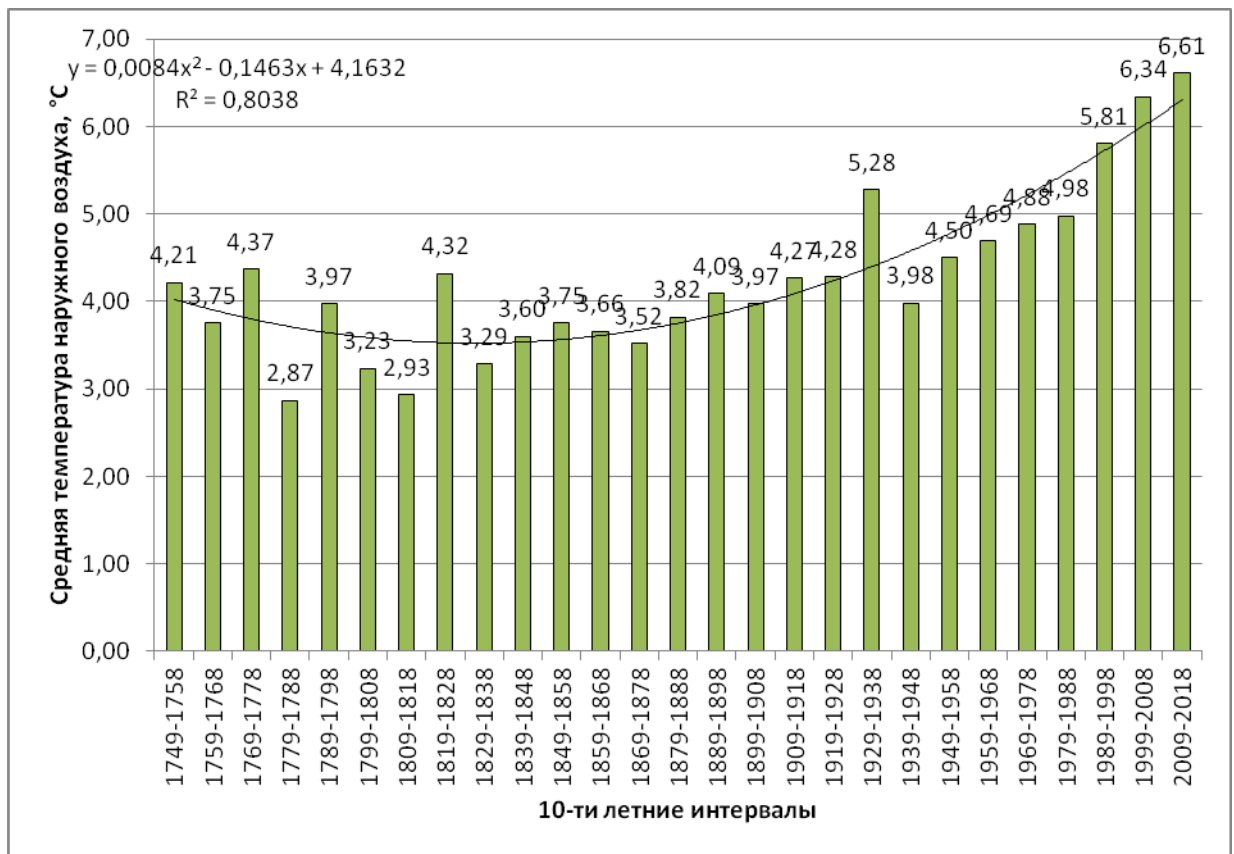


Рисунок 17. Изменение среднегодовой температуры наружного воздуха с дифференциацией массива данных на 10-ти летние интервалы

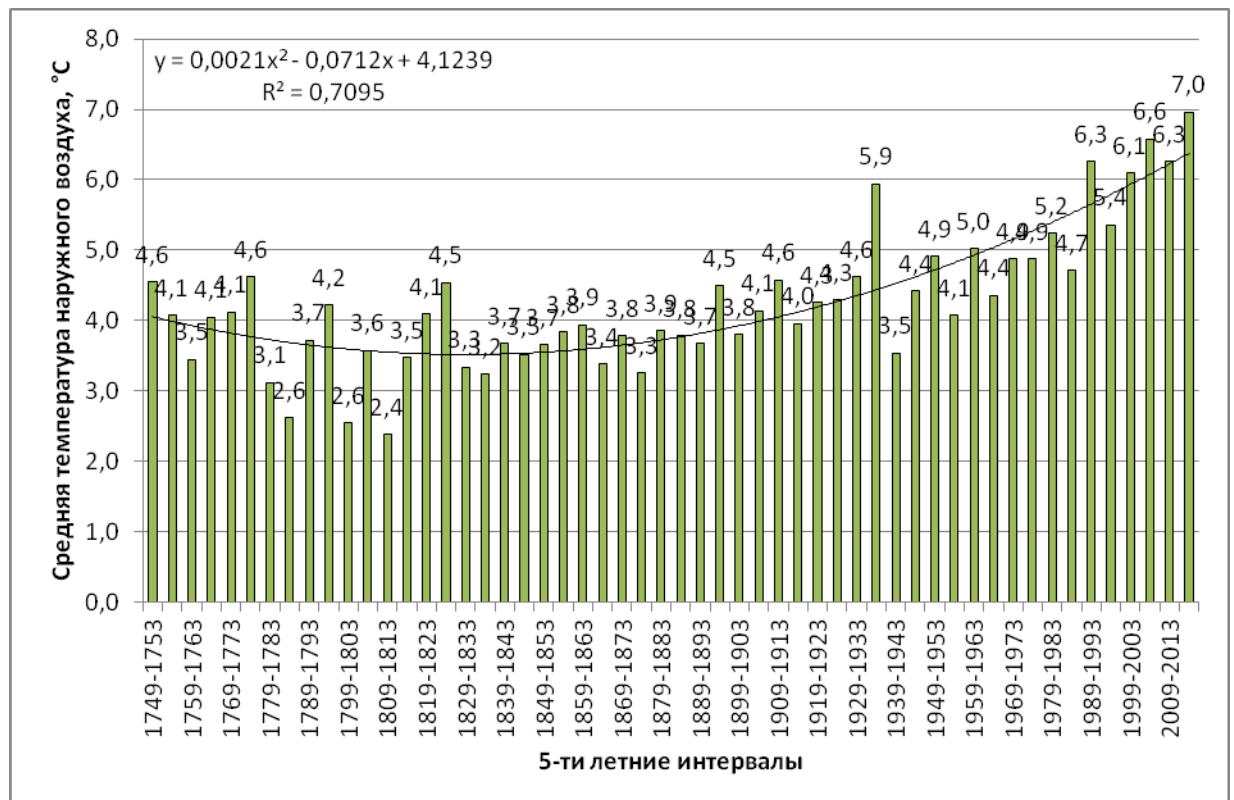


Рисунок 18. Изменение среднегодовой температуры наружного воздуха с дифференциацией массива данных на 5-ти летние интервалы

Из данных, представленных на *Рисунках 15-18*, следует, что полученным массивам данных наиболее полно соответствует полиномиальная аппроксимация степени 2 с меняющейся монотонностью линии тренда.

Среднегодовые температуры наружного воздуха за рассматриваемый период сначала снижаются, в период с 1779 по 1813 годы достигают некоторых минимальных значений, после чего монотонно возрастают. При этом на возрастающей части тренда отмечаются локальные минимумы, наиболее заметные из которых наблюдаются в пятилетние периоды с 1874 по 1878 и с 1939 по 1943 годы. В ряде случаев полученные временные интервалы совпадают с двумя крупными войнами, – русско-турецкой 1877 – 1878 гг. и Великой Отечественной 1941 – 1945 гг., соответственно.

Данные, представленные на *Рисунках 16-18*, достаточно хорошо коррелируют с данными, описанными в исследованиях [8, 9], согласно которым на территории Центральной России в течение последнего тысячелетия, на фоне квазициклических колебаний, наблюдалось постепенное снижение среднегодовых и среднесезонных (зима и лето) температур, однако в XX веке данная тенденция резко поменялась на противоположную. Авторы исследования [8] отмечают, что среднегодовые температуры в настоящее время находятся на уровне, примерно соответствующему максимуму средневекового оптимума (конец X века). Современные зимние температуры при этом за последние полтора тысячелетия находятся на рекордно высокой отметке, а летние – в пределах естественной изменчивости климата последнего тысячелетия.

С позиции теплового баланса крупный населенный пункт представляет собой источник тепловой энергии. Отапливаемые здания, инженерные коммуникации, транспорт и сами жители являются источниками тепловыделений. В этой связи интересно разделить год на два периода – теплый и холодный. Продолжительность холодного периода можно приблизительно принять равной продолжительности отопительного периода в городе, нормативное значение которого составляет 213 (для всех жилых и

большинства общественных зданий) или 232 суток (для общеобразовательных, детских дошкольных и лечебных учреждений) [см. СП 131.13330, РМД 23-16-2019]. Более точные данные начала и окончания отопительных периодов в период с 2011 по 2019 гг. представлены в *Таблице 1*. Из данных, представленных в *Таблице 1*, следует, что начало отопительного периода примерно соответствует концу сентября – началу октября, окончание – первой половине мая. Условно холодный периода года можно принять с октября по апрель (7 месяцев), теплый – с мая по сентябрь (5 месяцев).

П р и м е ч а н и е. До 1917 года в Санкт-Петербурге и Петрограде начало отопительного периода принималось 1 октября, окончание – 15 апреля [10, с. 451-452].

Разделение теплого и холодного периодов года на целое число месяцев оказывается более удобным в связи с наличием среднемесячных значений температур наружного воздуха.

Таблица 1. Даты начала и окончания отопительных периодов

Отопительный сезон	Начало	Окончание	Продолжительность, сут
2009/2010	05.10.2009	11.05.2010	218
2010/2011	07.10.2010	12.05.2012	217
2011/2012	15.10.2011	12.05.2012	210
2012/2013	15.10.2012	10.05.2013	199
2013-/2014	30.09.2013	12.05.2014	216
2014/2015	04.10.2014	12.05.2015	212
2015/2016	07.10.2015	06.05.2015	205
2016/2017	05.10.2016	19.05.2017	227
2017/2018	04.10.2017	10.05.2018	218
2018/2019	28.09.2018	13.05.2019	228

При проектировании систем отопления средняя температура наружного воздуха принимается по данным свода правил СП 131.13330, в т.ч. в Санкт-Петербурге – по данным РМД 23-16-2019. Для условий Санкт-Петербурга расчетные значения температуры наружного воздуха представлены в *Таблице 2*, показатели отопительного периода – в *Таблице 3*.

Таблица 2. Расчетные значения температуры наружного воздуха

Наименование населенного пункта	Расчетные температуры наружного воздуха, °С		
	наиболее холодной пятидневки, t_{ext}	средняя за отопительный период t_{ht} для периода со среднесуточной температурой воздуха	
		≤ 8 °С	≤ 10 °С
Санкт-Петербург	минус 24	минус 1,3	минус 0,4

Таблица 3. Расчетные показатели продолжительности и интенсивности отопительного периода

Наименование населенного пункта	Градусо-сутки HDD , °С·сут / продолжительность z_{ht} , сут				
	отопительного периода для зданий:				
	жилых, гостиниц и общежитий	общеобразовательных учреждений	поликлиник и лечебных учреждений	дошкольных учреждений	общественных, кроме указанных в графах 3, 4, 5
Санкт-Петербург	4537 / 213	4733 / 232	4965 / 232	5197 / 232	4111 / 213

Фактические значения средней за отопительный период температуры наружного воздуха могут значительно отличаться от расчетной (Рисунок 19). Подобные скачки вносят неопределенность при прогнозировании расчетных значений расхода тепловой энергии в населенном пункте.

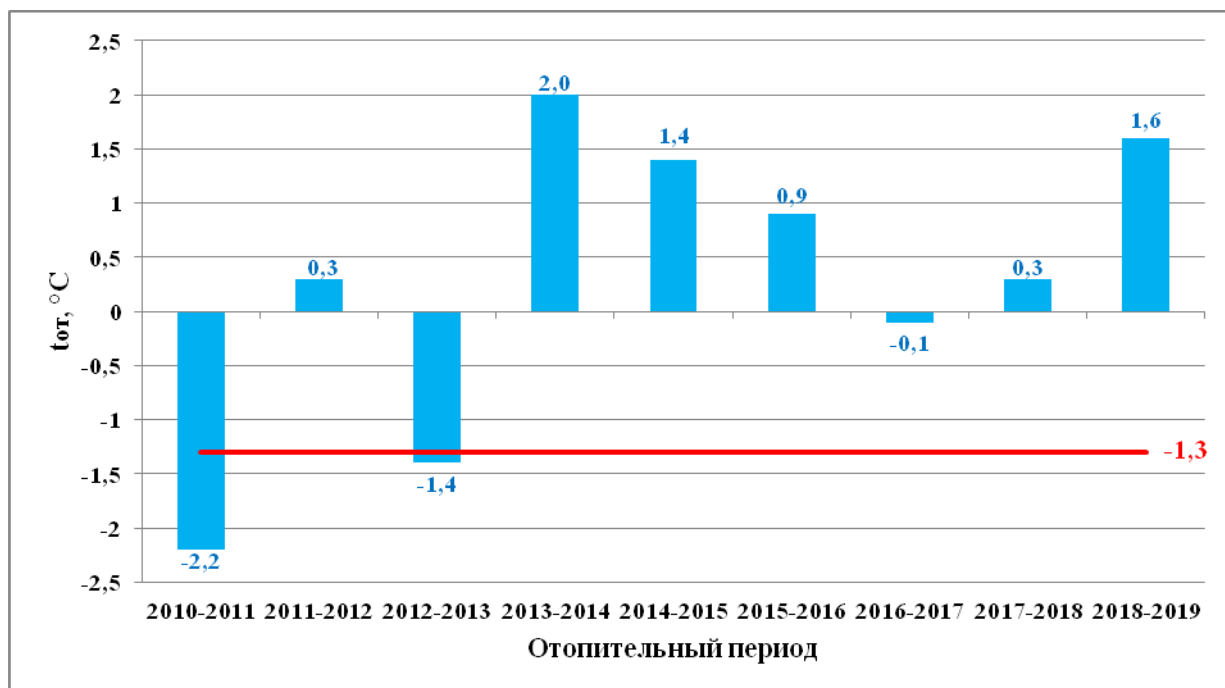


Рисунок 19. Средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода

Продолжительность отопительного периода также не является постоянной величиной. Фактические значения продолжительности отопительного периода в Санкт-Петербурге представлены в *Таблице 1* и показаны графически на *Рисунке 20*.

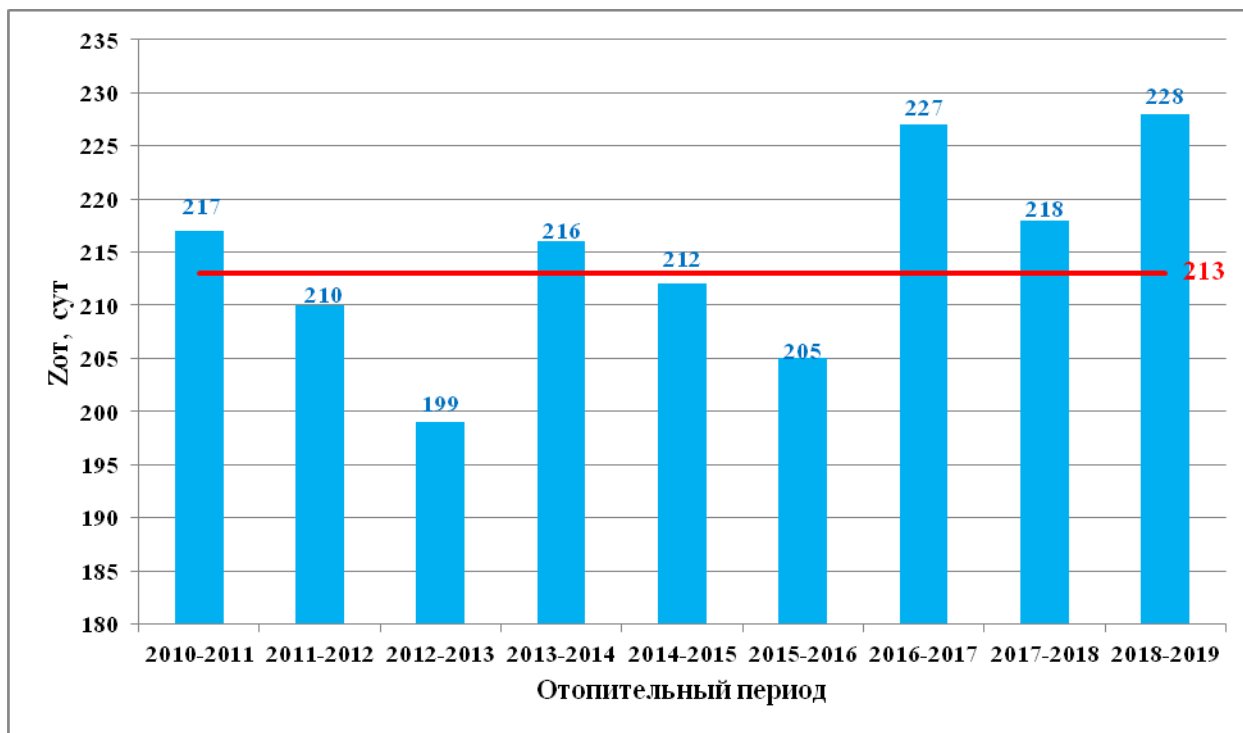


Рисунок 20. Продолжительность отопительного периода с 2010 по 2019 гг.

Нормативные параметры микроклимата для холодного периода установлены в ГОСТ 30496 (для жилых и общественных зданий) и ГОСТ 12.1.005 (для производственных зданий).

2.3 Анализ теплого и холодного периодов года

На этом основании рассмотрим аналогичные временные интервалы для теплого и холодного периодов года. На *Рисунках 21-24* представлены графики изменения среднегодовых температур наружного воздуха, усредненные соответственно по 50-ти летним, 25-ти летним, 10-ти летним и 5-ти летним интервалам для теплого периода года (с мая по сентябрь), когда выработка в городе тепловой и электрической энергии значительно сокращается. На *Рисунках 25-28* представлены аналогичные данные для холодного периода года.

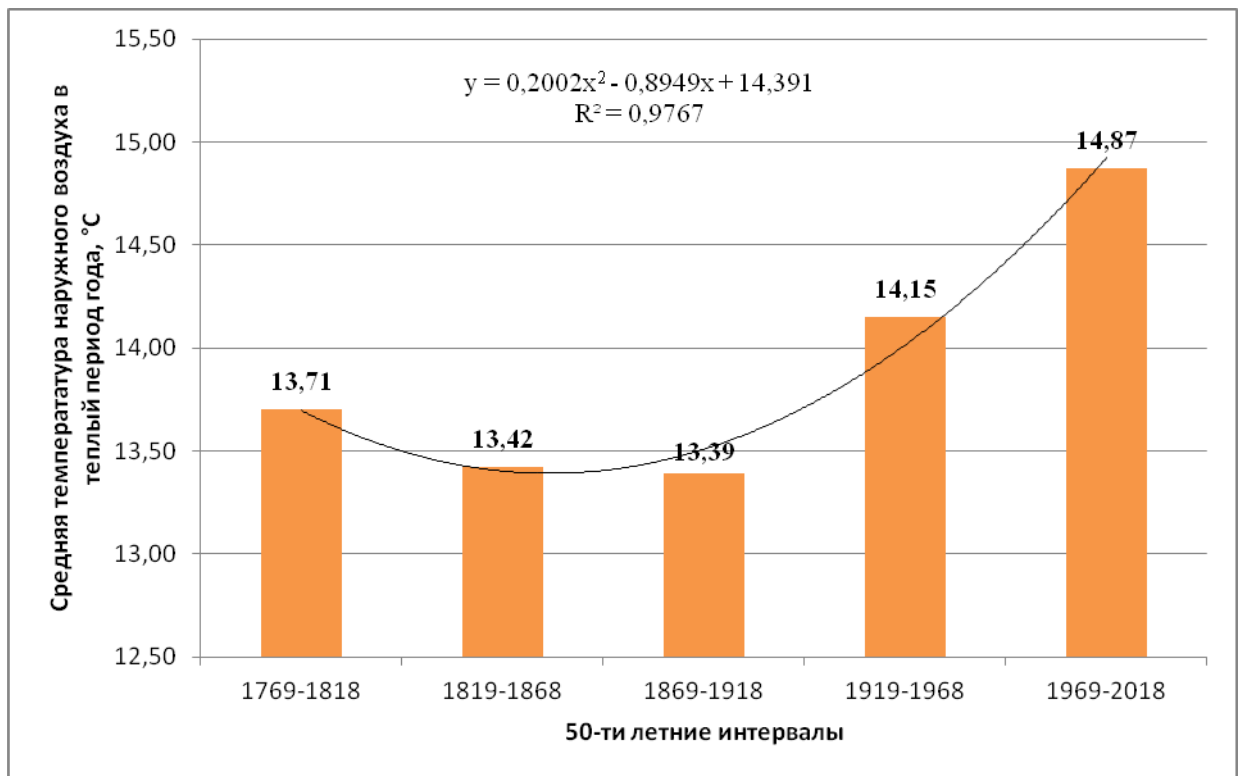


Рисунок 21. Изменение среднегодовой температуры воздуха в теплый период года с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

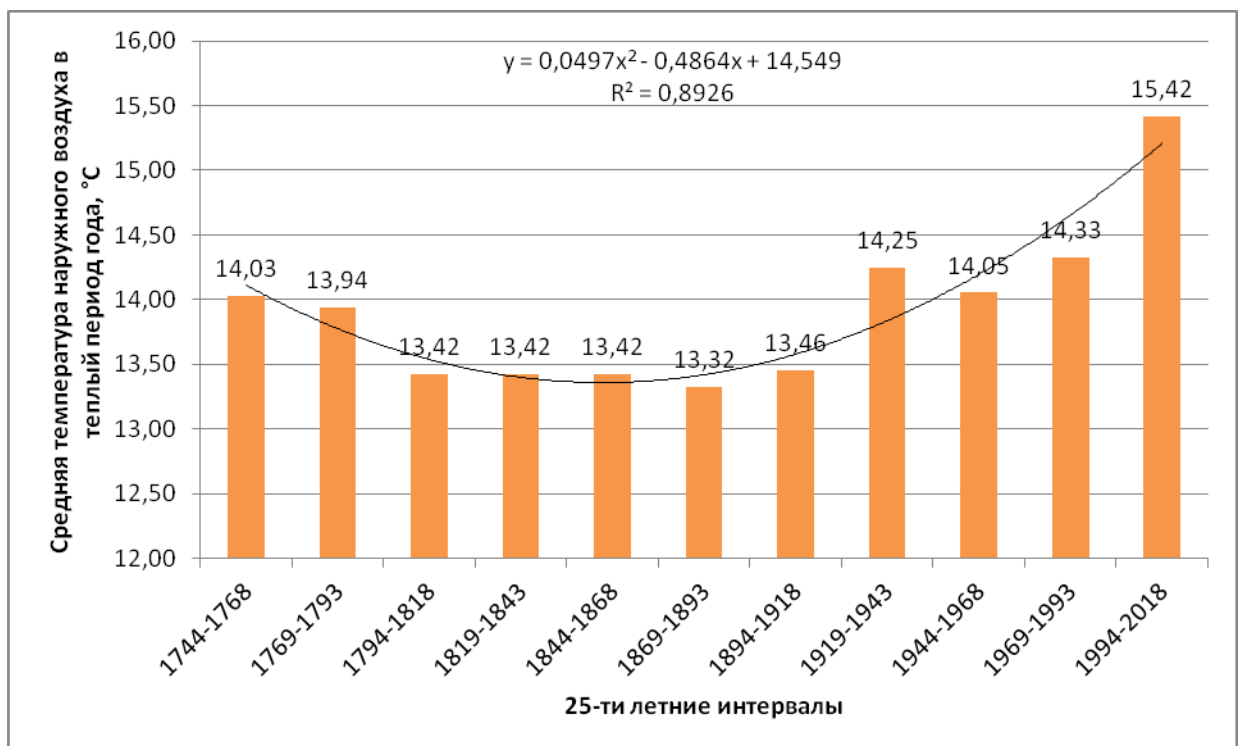


Рисунок 22. Изменение среднегодовой температуры воздуха в теплый период года с дифференциацией данных на 25-ти летние интервалы

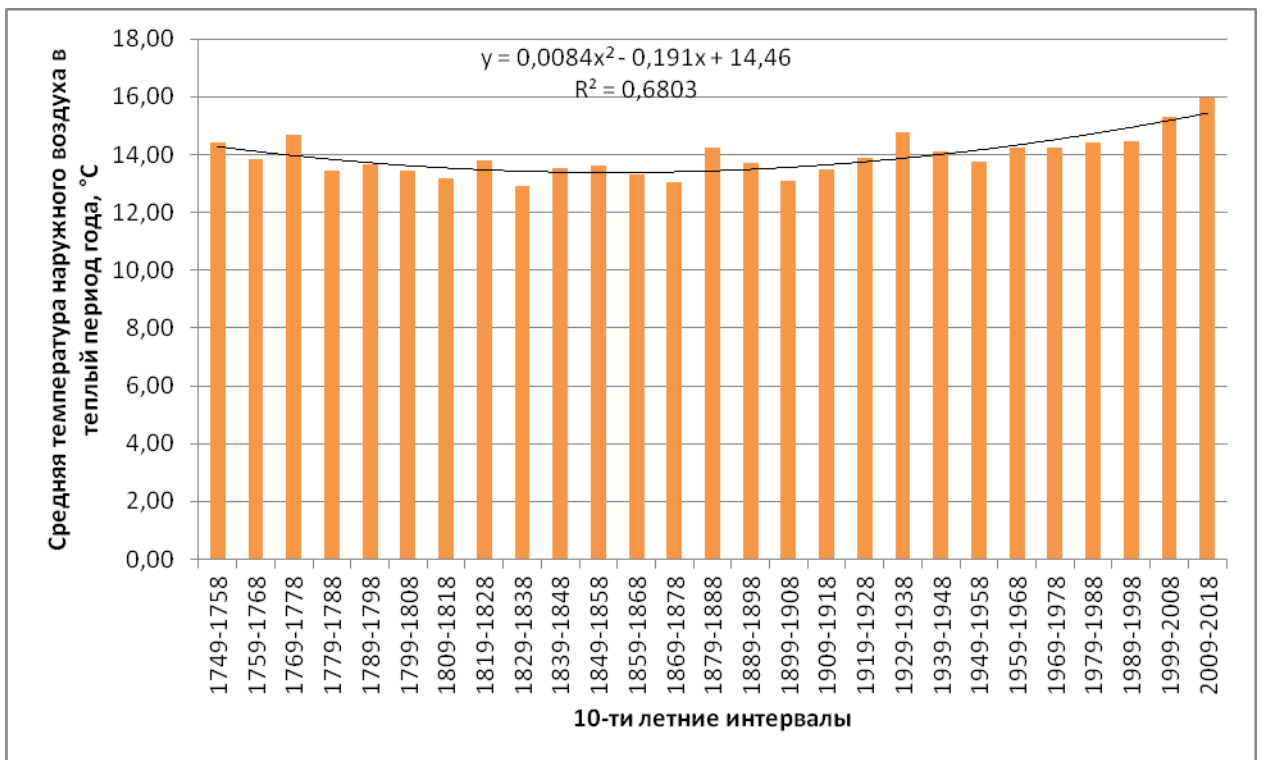


Рисунок 23. Изменение среднегодовой температуры воздуха в теплый период года с дифференциацией данных на 25-ти летние интервалы

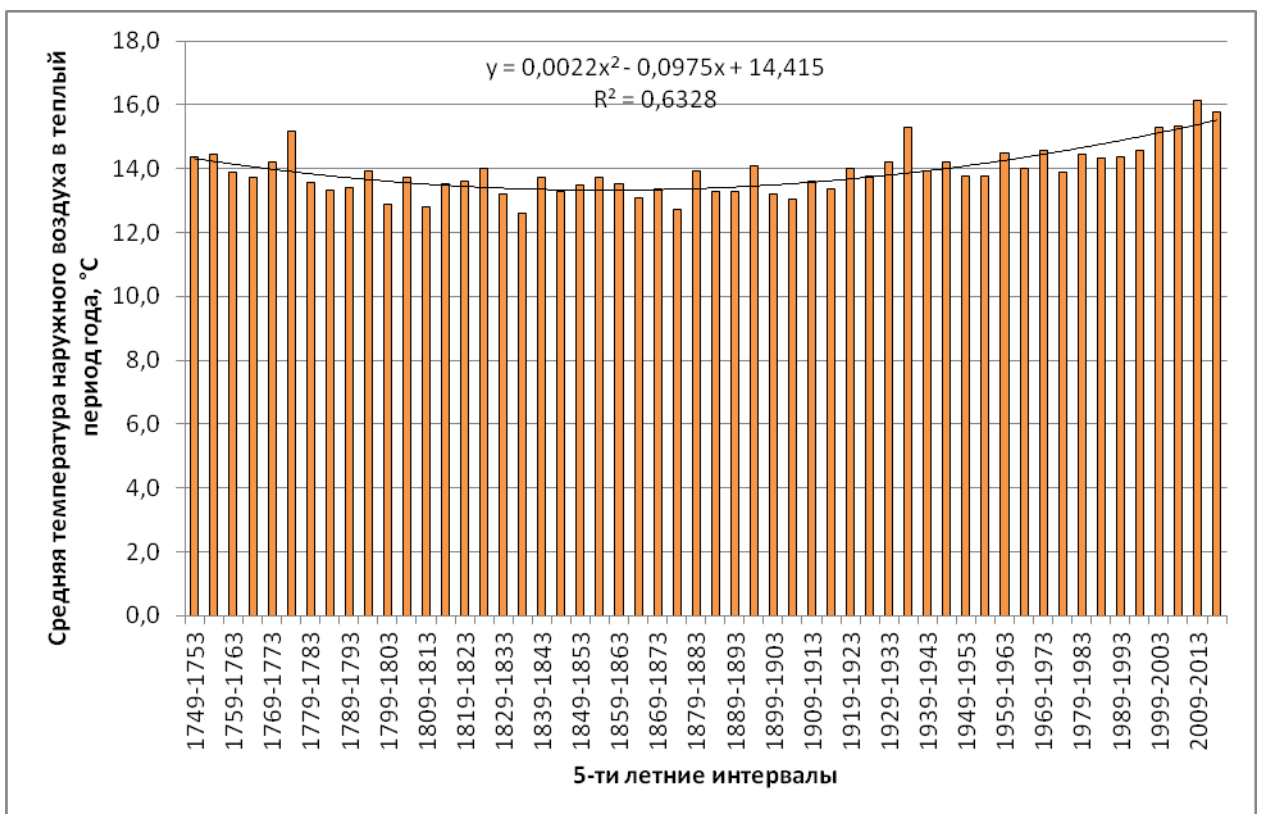


Рисунок 24. Изменение среднегодовой температуры воздуха в теплый период года с дифференциацией данных на 5-ти летние интервалы

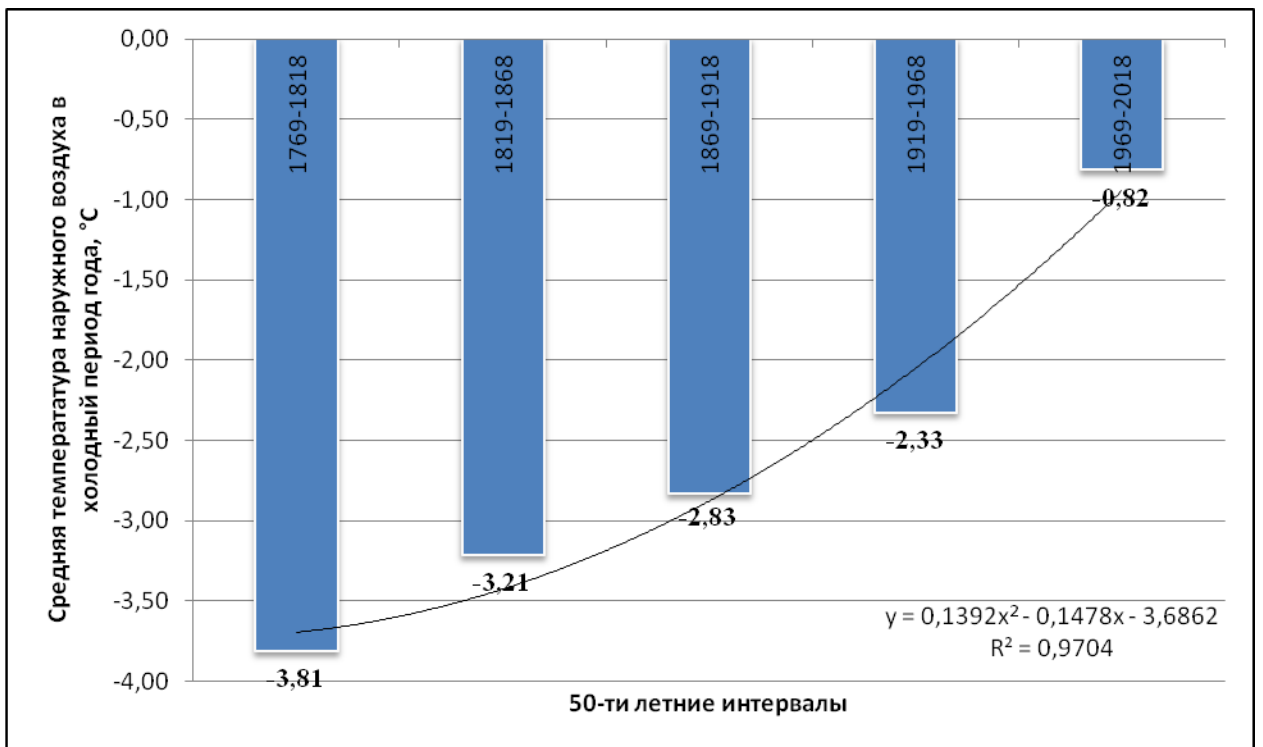


Рисунок 25. Изменение среднегодовой температуры воздуха в холодный период года с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

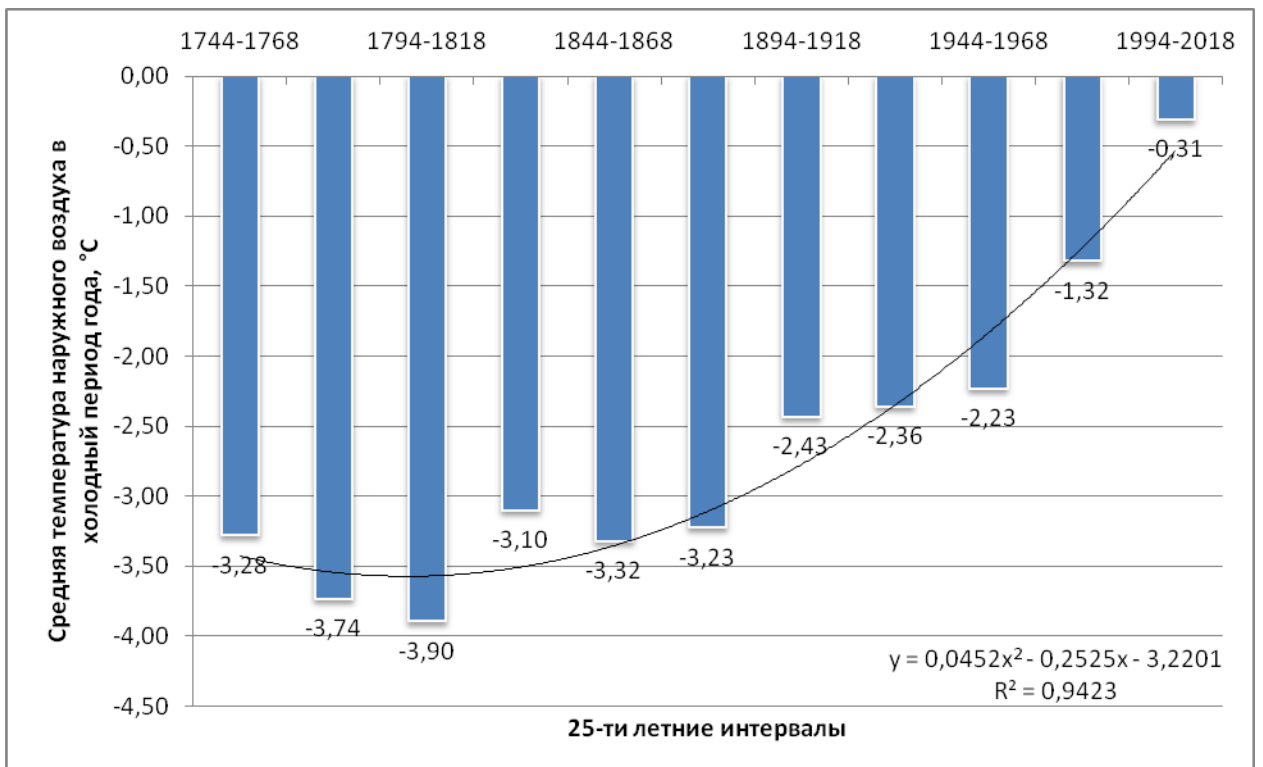


Рисунок 26. Изменение среднегодовой температуры воздуха в холодный период года с дифференциацией данных на 25-ти летние интервалы

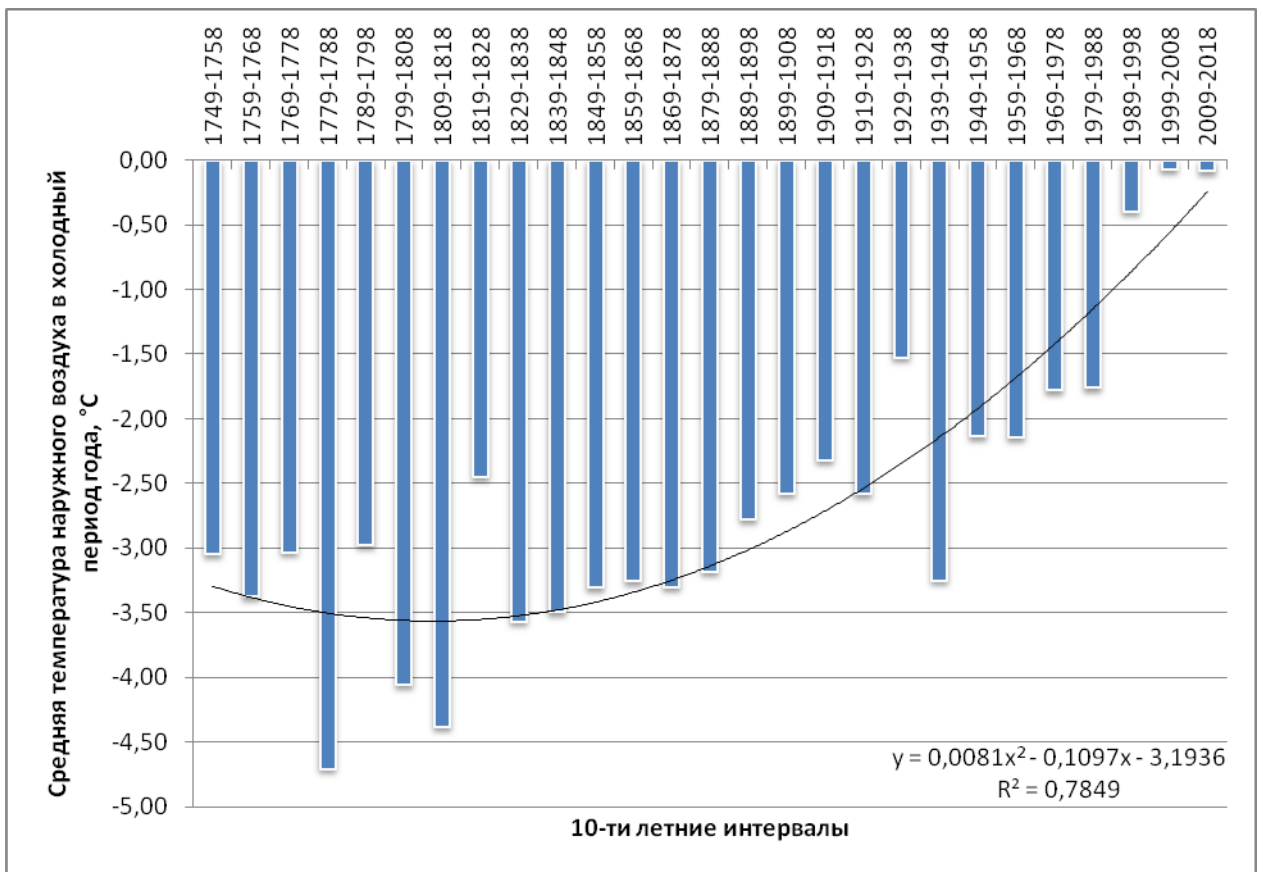


Рисунок 27. Изменение среднегодовой температуры воздуха в холодный период года с дифференциацией данных на 10-ти летние интервалы

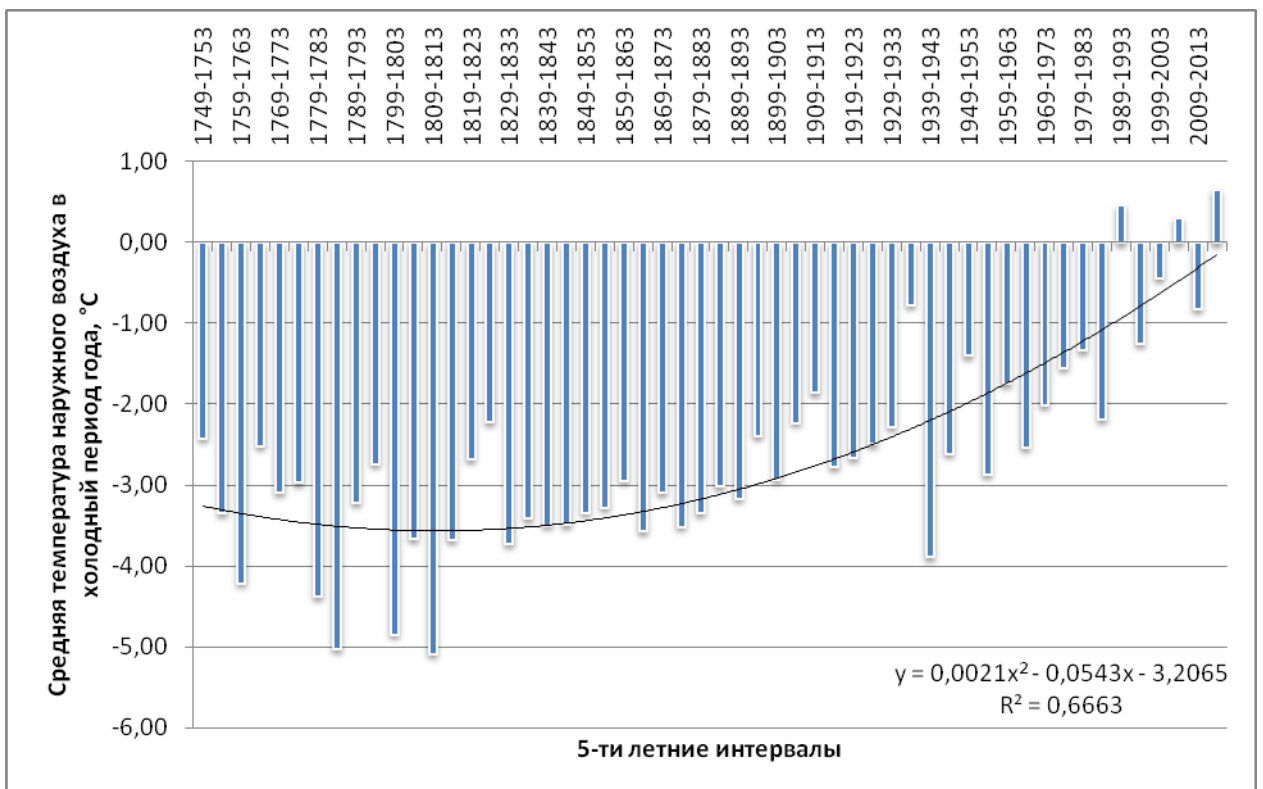


Рисунок 28. Изменение среднегодовой температуры воздуха в холодный период года с дифференциацией данных на 5-ти летние интервалы

Из представленных на *Рисунках 21-28* данных следует, что наиболее близко рассматриваемые массивы данных описывает полиномиальная аппроксимация.

В теплый период года минимальные значения среднегодовой температуры наружного воздуха в Санкт-Петербурге наблюдались с 1834 по 1908 гг., в холодный период года – с 1779 по 1813 гг. Затем наблюдается устойчивый тренд повышения среднегодовой температуры наружного воздуха, наиболее интенсивный – в последние 50 лет.

В связи с минимальным воздействием внутренних источников теплоты на климат в теплый период года, наблюдаемый в этот период тренд можно связать с глобальным.

В холодный период года коэффициент детерминации принимает максимальное значение для полиномиальной аппроксимации рассматриваемого массива данных. Линия тренда изменения температуры наружного воздуха в холодный период года совпадает с линией тренда, наблюдаемой в теплый период года, когда среднегодовая температура наружного воздуха сначала убывает, достигает минимальных значений, а затем меняет свою монотонность. Можно предположить, что изменение монотонности рассматриваемого тренда обусловлено ростом численности населения и развитием промышленности, т.к. количество потребляемой в населенном пункте энергии коррелирует с количеством его жителей.

Из данных, представленных на рисунках выше, следует, что минимальные температуры наружного воздуха наблюдались в конце XVII – середине XIX столетий. До этого периода средние температуры наружного воздуха были, как правило, выше. При более детальном рассмотрении 25-ти летних временных интервалов видно, что средняя температура наружного воздуха за период с 1744 по 1768 годы составила 3,96 °С (см. *Рисунок 16*), затем в течение длительного периода времени понижалась и только к началу XX века снова смогла достичь значений, близких к 4 °С, что в целом коррелирует с данными, полученными в работе [8].

В тоже время, сравнение данных, представленных на *Рисунке 21* и *Рисунке 25*, показывает, что за последние 50 лет в теплый период года прирост температуры наружного воздуха составил $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,0144\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год). За аналогичный временной интервал в холодный период года прирост составил $1,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год), т.е. средняя температура выросла в 2 раза более интенсивно. Отсюда можно сделать предположение о том, что в холодный период года внутренние тепlopоступления становятся сопоставимыми по влиянию на климат города с трендом глобального потепления. Некоторые локальные минимумы подтверждают данное предположение. Например, в пятилетний интервал (см. *Рисунок 24* и *Рисунок 28*) в период с 1939 по 1943 гг. в теплый период года снижение среднегодовой температуры наружного воздуха составило $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с $15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$), в холодный период года – $3,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с минус $0,77$ до минус $3,89\text{ }^{\circ}\text{C}$). Как известно, в указанный период в подавляющем большинстве зданий отсутствовала или была значительно сокращена подача тепловой энергии.

Часть 3

2.4 Анализ месячных данных изменения температуры воздуха

Интерес представляет также анализ 50-ти летних интервалов, дифференцированных по месяцам календарного года. На *Рисунках 29-40* представлены 50-ти летние интервалы, дифференцированные по месяцам.

Из представленного массива данных следует, что за последние 50 лет наибольший прирост температуры наружного воздуха в Санкт-Петербурге фиксируется в именно в холодные месяцы.

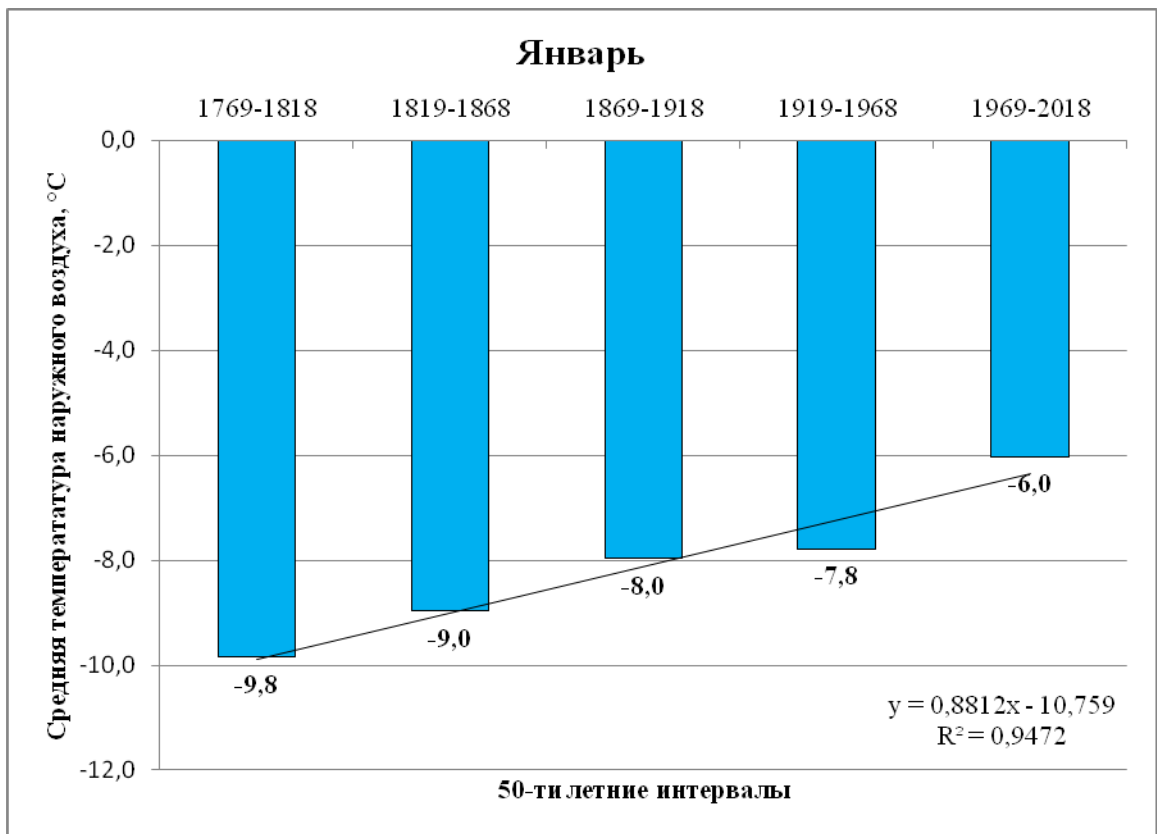


Рисунок 29. Изменение средней температуры воздуха в январе с дифференциацией данных на 25-ти летние интервалы

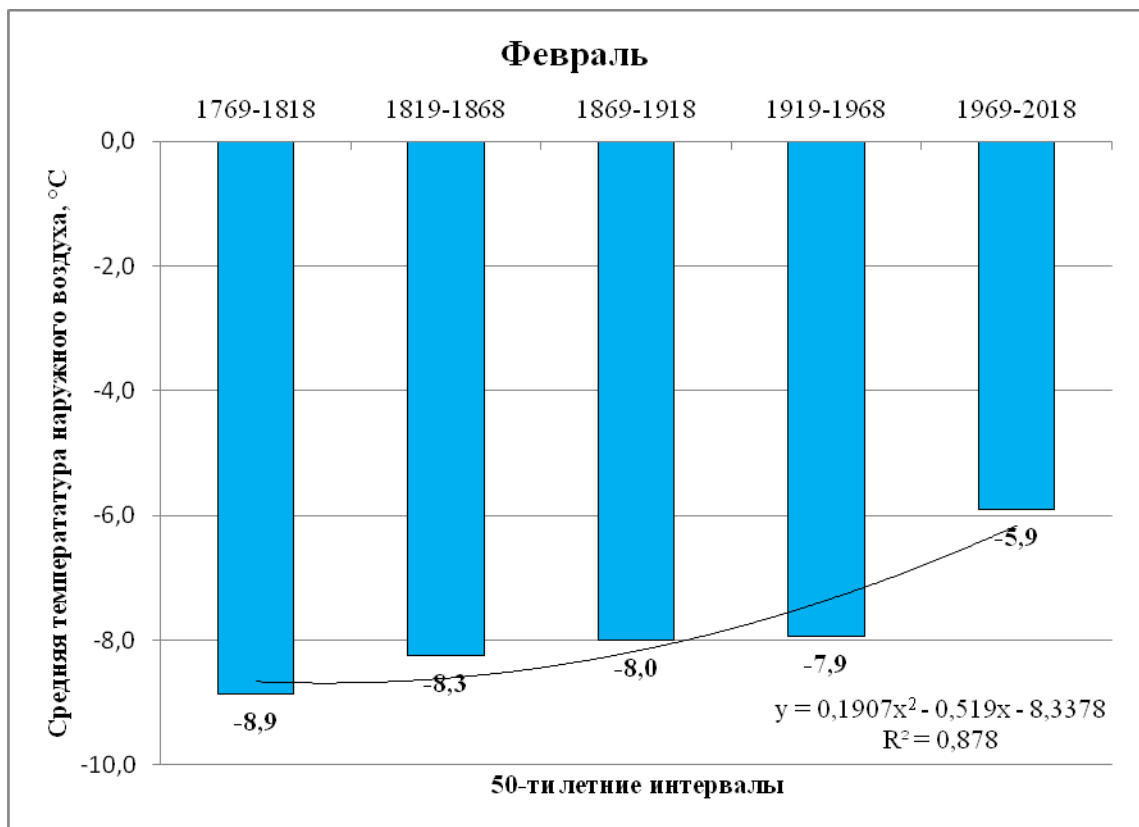


Рисунок 30. Изменение средней температуры воздуха в феврале с дифференциацией данных на 25-ти летние интервалы

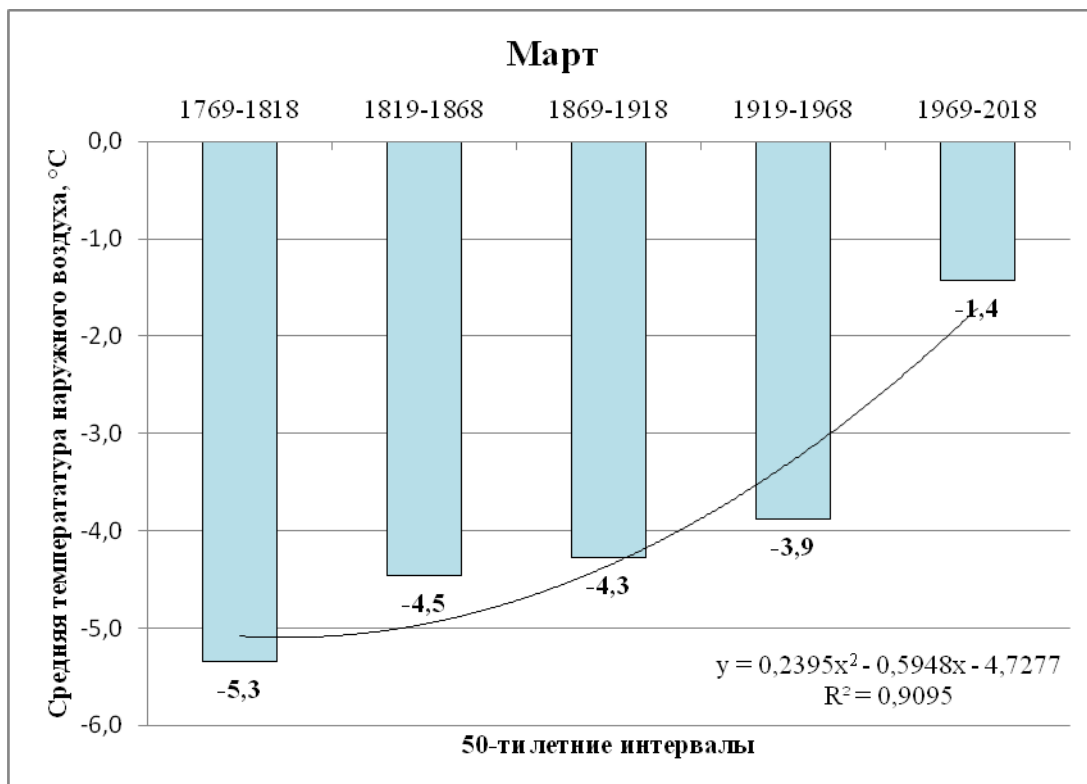


Рисунок 31. Изменение средней температуры воздуха в марте с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

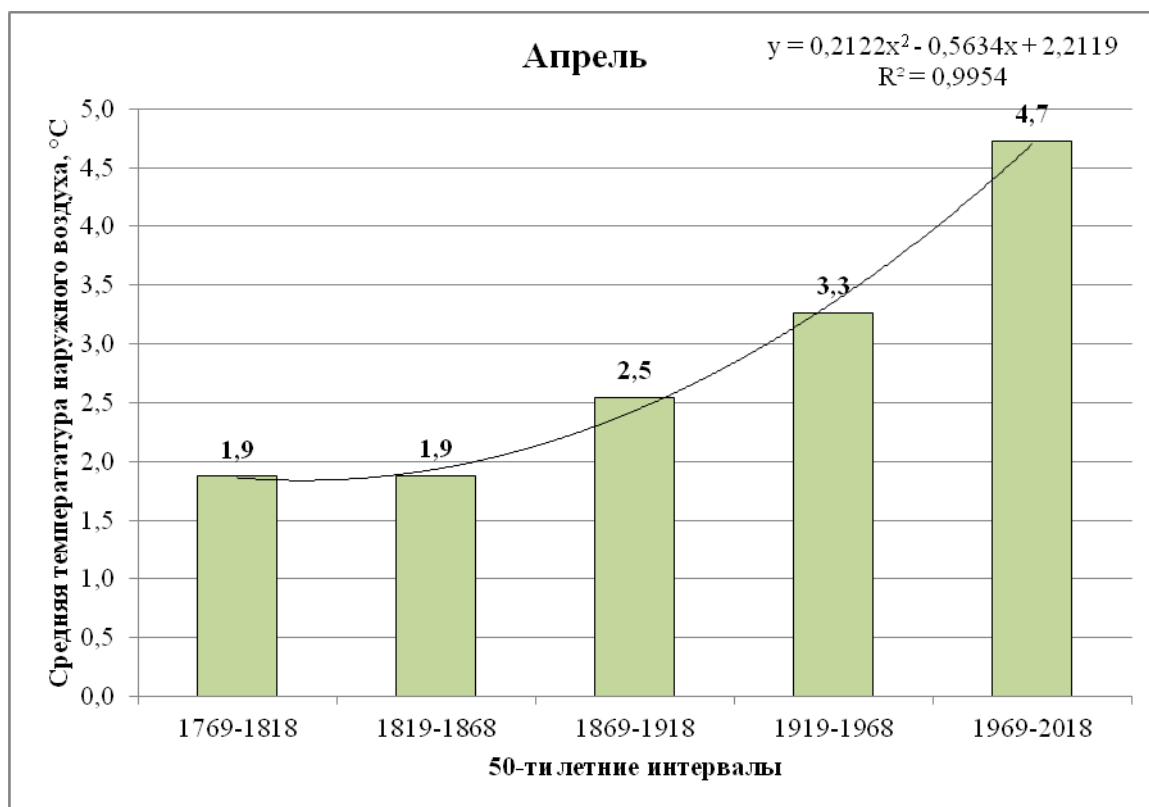


Рисунок 32. Изменение средней температуры воздуха в апреле с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

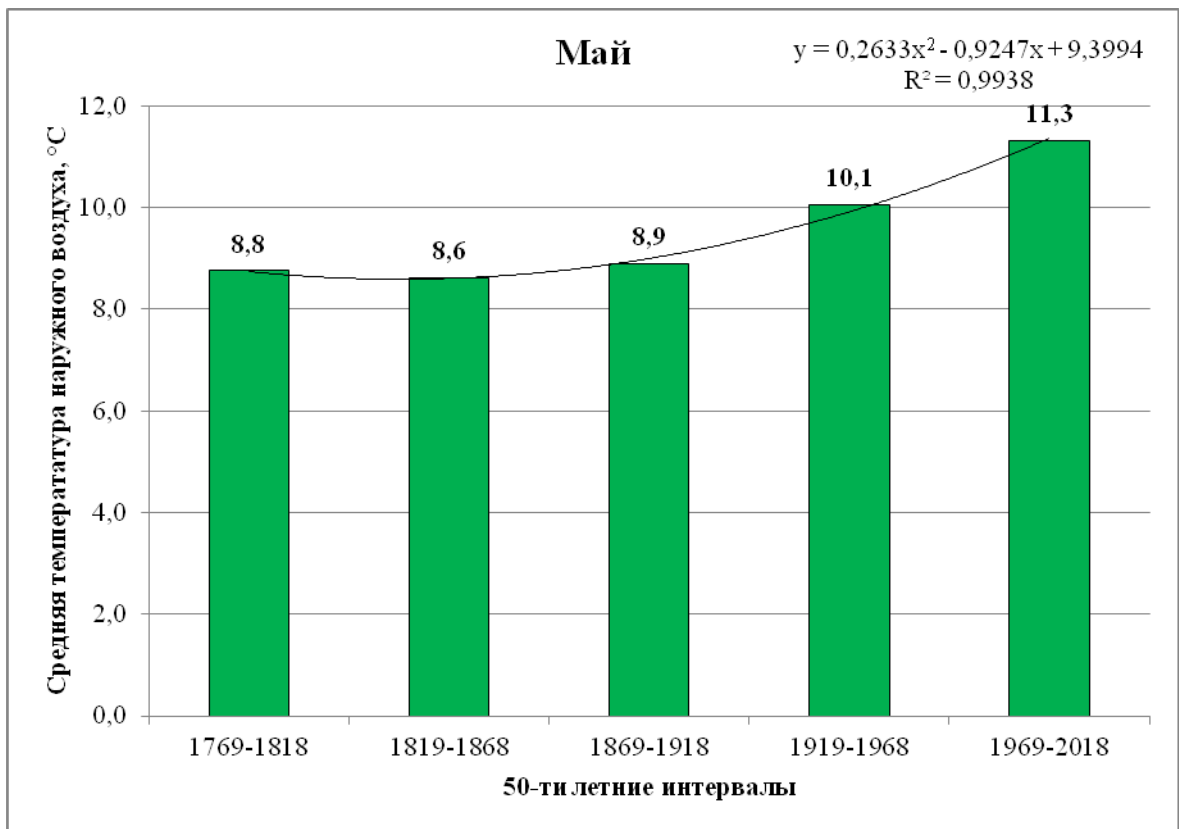


Рисунок 33. Изменение средней температуры воздуха в мае с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

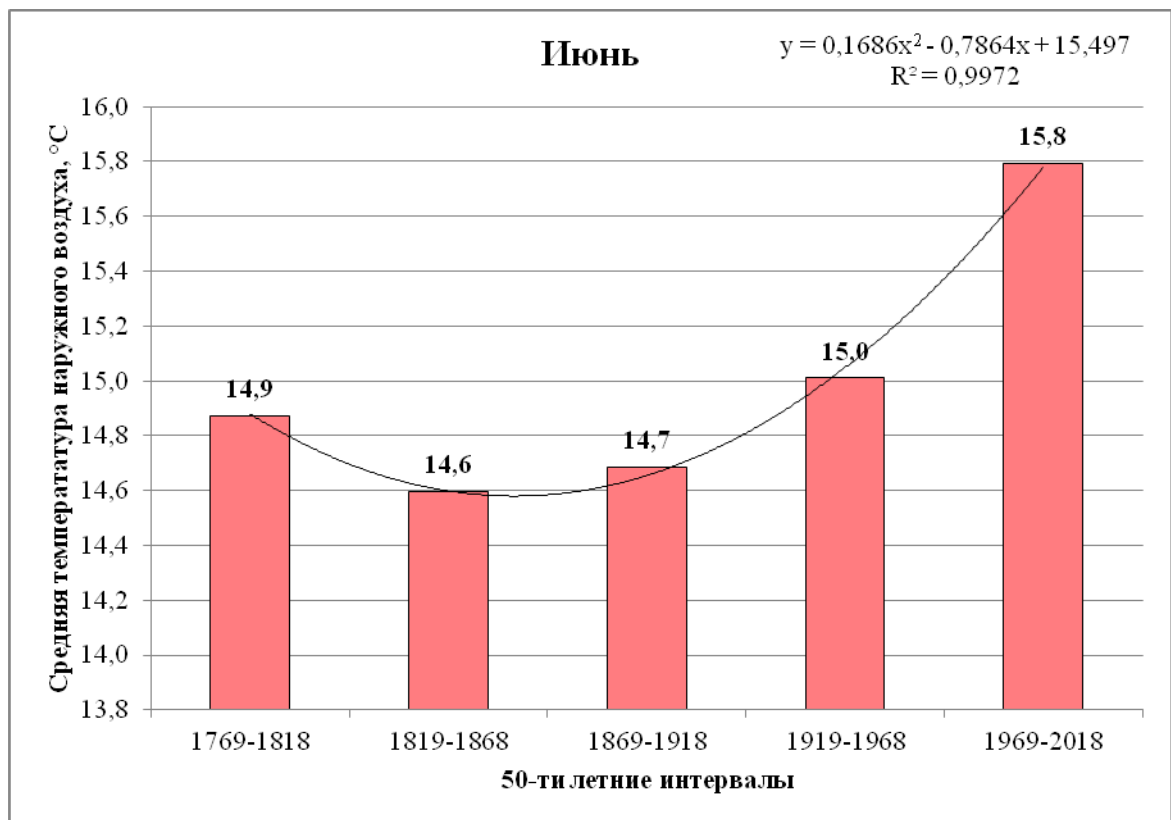


Рисунок 34. Изменение средней температуры воздуха в июне с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

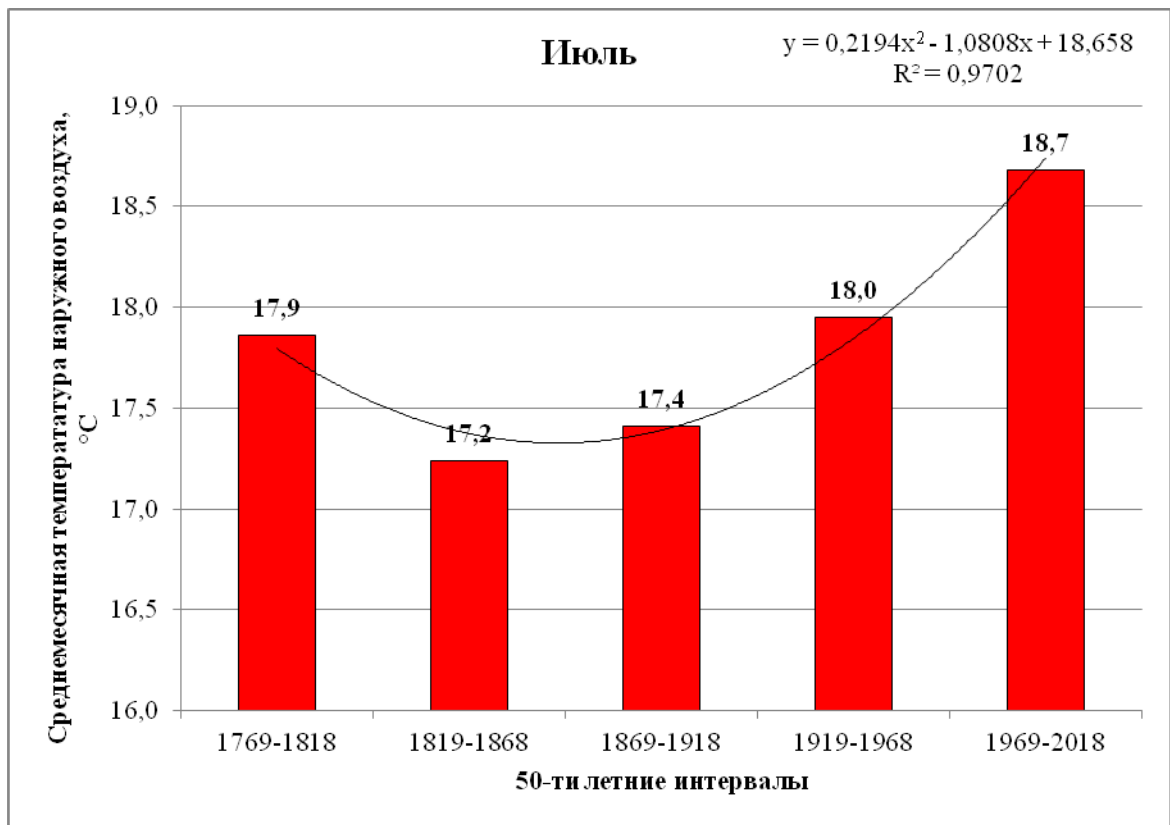


Рисунок 35. Изменение средней температуры воздуха в июле с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

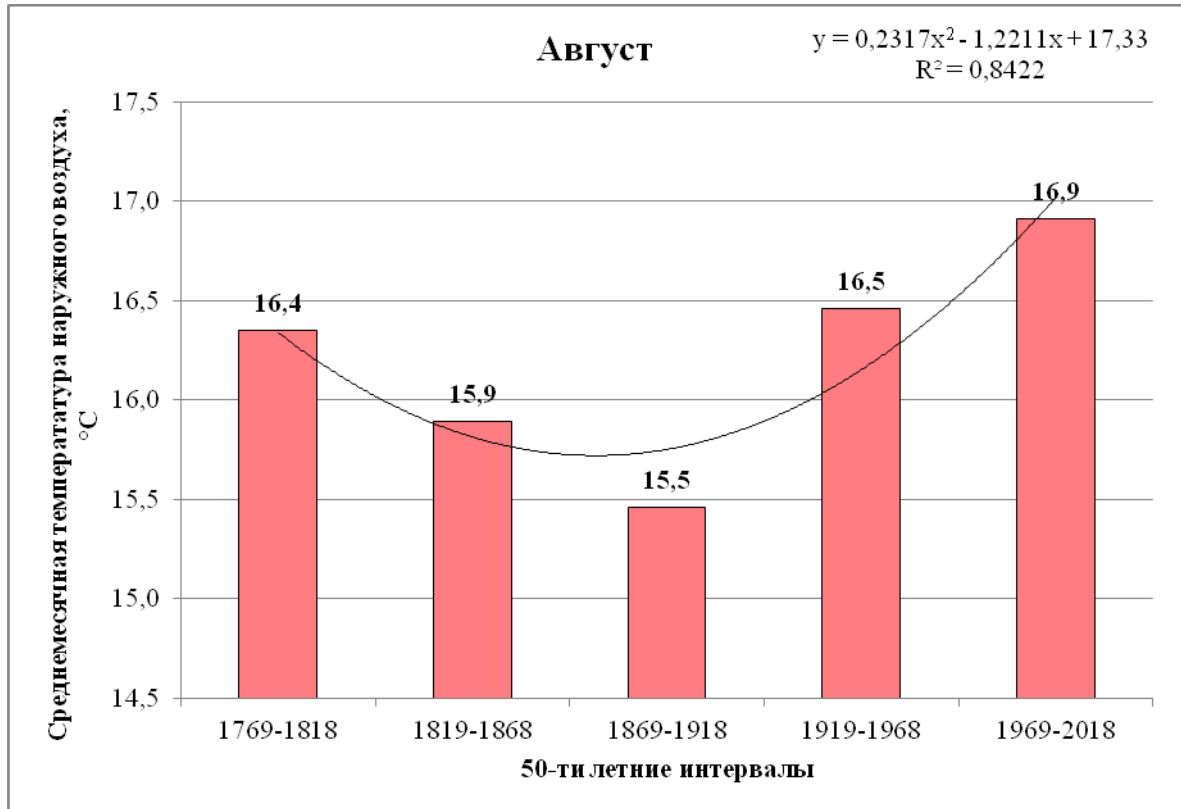


Рисунок 36. Изменение средней температуры воздуха в августе с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

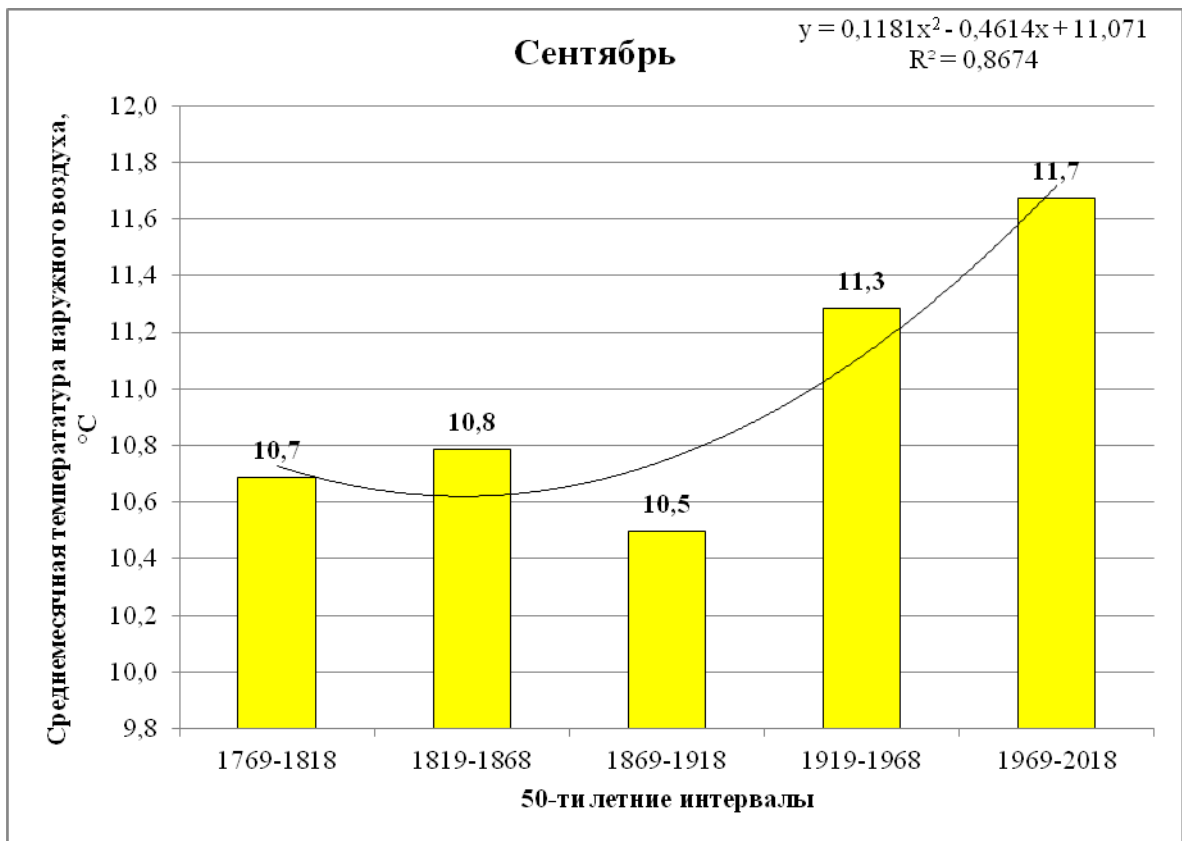


Рисунок 37. Изменение средней температуры воздуха в сентябре с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

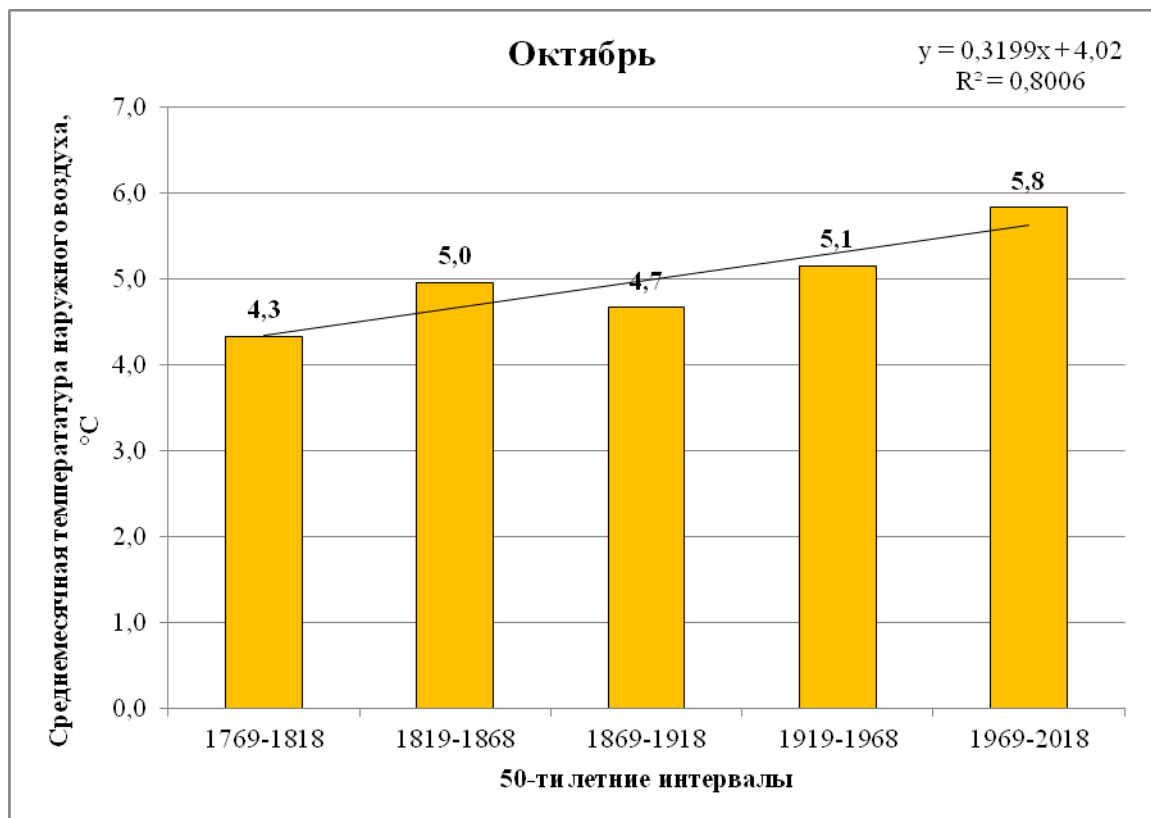


Рисунок 38. Изменение средней температуры воздуха в октябре с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

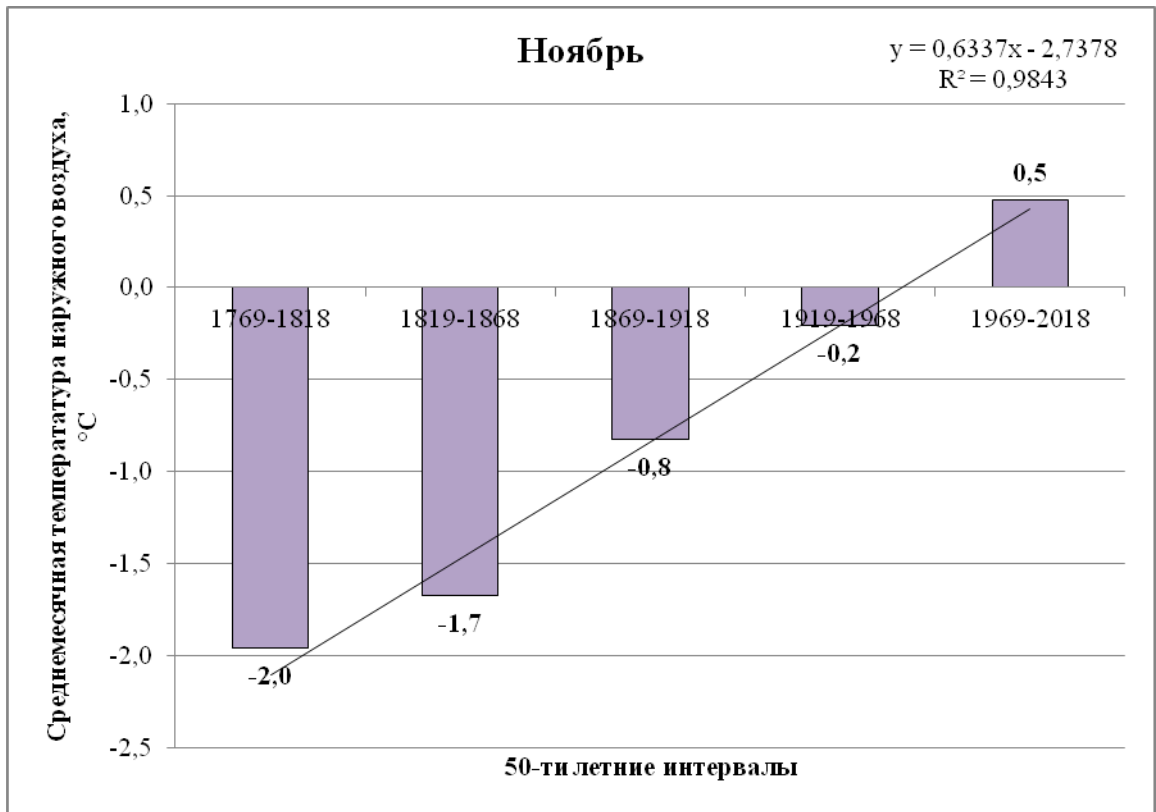


Рисунок 39. Изменение средней температуры воздуха в ноябре с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

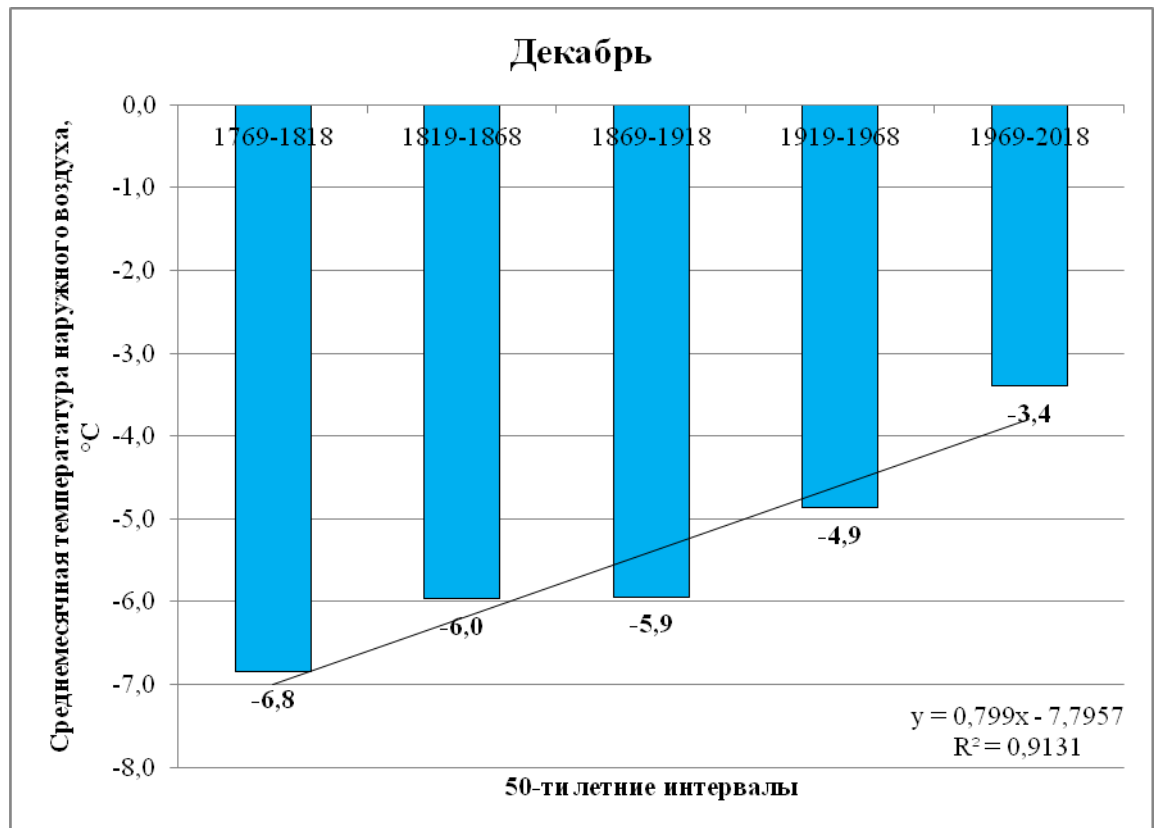


Рисунок 40. Изменение средней температуры воздуха в декабре с дифференциацией данных на 50-ти летние интервалы

Из данных, представленных на *Рисунках 29-40*, следует, что для наиболее теплых месяцев года линия тренда в наибольшей степени соответствует полиномиальной аппроксимации. По мере уменьшения температуры наружного воздуха линия тренда становится все более полой, приближаясь к линейной.

Обобщенные данные температур наружного воздуха, усредненные по 50-ти летним интервалам и дифференцированные по месяцам, с указанием абсолютных значений прироста температуры наружного воздуха представлены в *Таблице 4*.

Таблица 4. Обобщенные данные, усредненные по 50-ти летним интервалам и по месяцам

Интервал	Январь		Февраль		Март	
	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост
1769-1818	-9,8	-	-8,9	-	-5,3	-
1819-1868	-9,0	+1,8	-8,3	+0,6	-4,5	+0,8
1869-1918	-8,0	+1,0	-8,0	+0,3	-4,3	+0,2
1919-1968	-7,8	+0,2	-7,9	+0,1	-3,9	+0,4
1969-2018	-6,0	+1,8	-5,9	+2,0	-1,4	+2,5
Интервал	Апрель		Май		Июнь	
	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост
1769-1818	1,9	-	8,8	-	14,9	-
1819-1868	1,9	0	8,6	-0,2	14,6	-0,3
1869-1918	2,5	+0,6	8,9	+0,3	14,7	+0,1
1919-1968	3,3	+0,8	10,1	+1,2	15,0	+0,3
1969-2018	4,7	+1,4	11,3	+1,2	15,8	+0,8
Интервал	Июль		Август		Сентябрь	
	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост
1769-1818	17,9	-	16,4	-	10,7	-
1819-1868	17,2	-0,7	15,9	-0,5	10,8	-0,1
1869-1918	17,4	+0,2	15,5	-0,4	10,5	-0,3
1919-1968	18,0	+0,6	16,5	+1,0	11,3	+0,8
1969-2018	18,7	+0,7	16,9	+0,4	11,7	+0,4
Интервал	Октябрь		Ноябрь		Декабрь	

	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост	Абс. зн.	Прирост
1769-1818	4,3	-	-2,0	-	-6,8	-
1819-1868	5,0	+0,7	-1,7	+0,3	-6,0	+0,8
1869-1918	4,7	+0,3	-0,8	+0,9	-5,9	+0,1
1919-1968	5,1	+0,4	-0,2	+0,6	-4,9	+1,0
1969-2018	5,8	+0,7	0,5	+0,7	-3,4	+1,5

Материалы, представленные в *Таблице 4*, графически показаны на *Рисунке 42*.

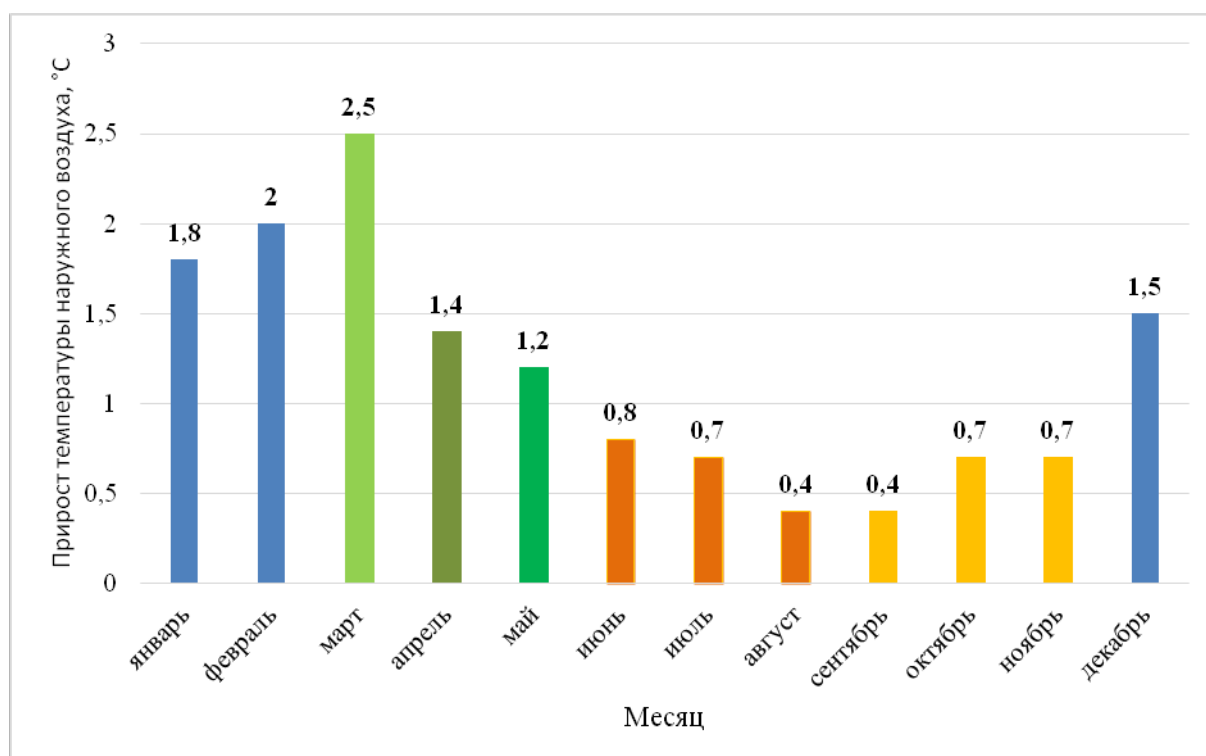


Рисунок 41. Приросты температуры наружного воздуха по месяцам за период с 1969 по 2018 гг.

На установление температурного режима в населенном пункте могут оказывать влияние как глобальные, так и локальные причины. К глобальным причинам можно отнести глобальное изменение климата, обусловленное антропогенным влиянием человека, солнечной активностью и, например, извержением вулканов.

За период с 1743 года по настоящее время произошли следующие наиболее крупные извержения вулканов (в порядке следования):

- октябрь 1766 года – вулкан Майон (о. Лусон, Филиппины);

- июль 1783 года – вулкан Лаки (Исландия);
- май 1792 – вулкан Ундзэн (о. Кюсю, Япония);
- апрель 1815 год – вулкан Тамбора (о. Сумбава, Индонезия);
- август 1883 года – вулкан Кракатау (Зондский пролив между островами Ява и Суматра);
- май 1902 года – вулкан Монтань-Пеле (о. Мартиника);
- июнь 1912 года – вулкан Катмай (Аляска, США);
- декабрь 1931 – вулкан Мерапи (о. Ява, Индонезия);
- ноябрь 1985 года – вулкан Невадо-дель-Руис (Колумбия);
- июнь 1991 года – вулкан Пинатубо (о. Лусон, Филиппины).

Анализ вулканической активности не выявил заметного ее влияния на климат Санкт-Петербурга, причиной чему, вероятнее всего, является значительная удаленность Санкт-Петербурга от мест извержения вулканов.

Локальные факторы, оказывающие влияние на изменение климата в Санкт-Петербурге рассмотрены в следующем разделе.

Часть 4

3. Тепловой баланс города

3.1 Источники теплопоступлений и теплопотерь

Температура воздуха в населенном пункте устанавливается на основании баланса притоков и потерь тепловой энергии. Основными факторами, влияющими на климат в конкретном населенном пункте, являются:

- характеристики ветрового напора;
- интенсивность солнечной радиации;
- площадь водных источников (естественных аккумуляторов теплоты);
- интенсивность хозяйственной деятельности жителей.

Основными источниками теплоты в городе являются:

- отапливаемые здания;
- тепловые сети;

- электропотребляющие установки, оборудование и приборы;
- электрические сети и коммуникации;
- транспорт;
- люди и животные;
- солнечная радиация;
- открытые водные источники в периоды года, когда температура воды выше температуры окружающего воздуха.

Основными факторами, влияющими на понижение температуры воздуха в населенном пункте, являются:

- потоки холодного воздуха;
- испарение влаги с поверхности открытых водных источников, расположенных на территории или вблизи населенного пункта, а также поглощение ими теплоты в периоды, когда температура поверхности воды оказывается ниже температуры окружающего воздуха.

Для крупных городских агломераций, к которым относится Санкт-Петербург, следует ожидать также неравномерности распределения температуры воздуха на территории городской среды, которая зависит от направления и скорости ветровых потоков, близости водных источников, а также плотности тепловой и электрической нагрузки.

Следует отметить, что ветровой поток, в зависимости от соотношения температуры потока и текущей температуры воздуха в населенном пункте, может способствовать как снижению, так и повышению средневзвешенной температуры наружного воздуха.

Более детальный анализ некоторых, наиболее существенных источников поступления тепловой энергии в Санкт-Петербурге, рассмотрен ниже.

3.2 Влияние водных источников

Водные источники являются естественными и значительными по емкости аккумуляторами тепловой энергии. Из схемы, представленной на *Рисунке 43*, следует, что в границах Санкт-Петербурга водная поверхность

занимает значительную долю территории города и кроме того, распределяется крайне неравномерно по площади города.

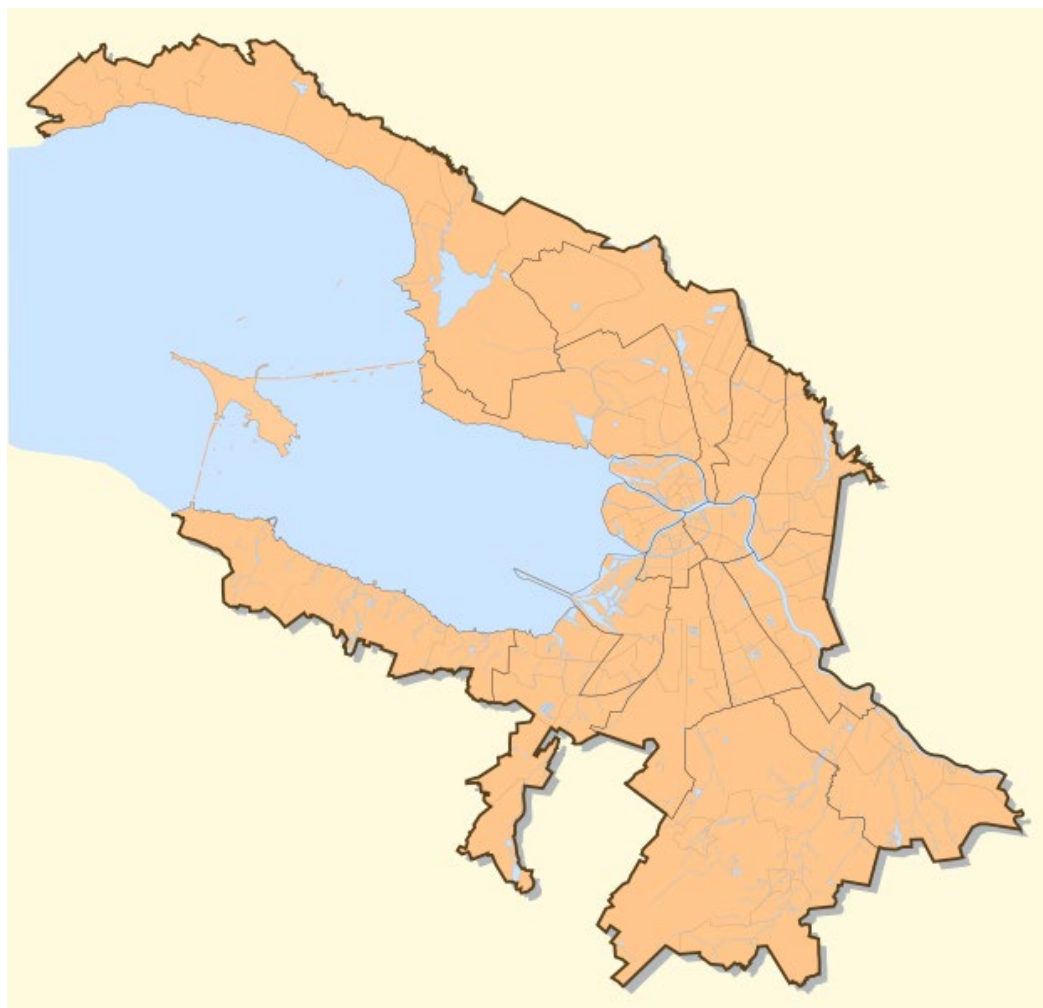


Рисунок 42. Схематичная карта Санкт-Петербурга

Источник: [<http://tatspb.tatarstan.ru/o-sankt-peterburge.htm>]

В том случае, если температура поверхности жидкости оказывается выше температуры окружающего воздуха по сухому термометру, поток тепловой энергии направлен от поверхности в окружающую среду. И, наоборот, если температура поверхности жидкости ниже температуры окружающего воздуха по сухому термометру, но выше точки росы, – от окружающей среды к поверхности жидкости. В летний период года водные источники, в основном, интенсивно накапливают тепловую энергию, в холодный (до момента образования ледяного покрова) – возвращают ее в окружающую среду.

Процесс теплообмена между поверхностью водного источника и окружающей средой происходит как за счет конвекции, так и за счет излучения, и в общем случае может быть описан по эмпирическому закону Ньютона-Рихмана. Интенсивность конвективного теплообмена зависит от интенсивности ветрового потока, теплообмена излучением – от разности температур. Однако, численная оценка вклада водных источников в тепловой баланс города затруднительна ввиду большого количества переменных и часто, – достаточно неопределенных, параметров.

На *Рисунке 43* показан пример фактической погоды в Санкт-Петербурге и его окрестностях по состоянию на 9:00 27 декабря 2019 г.

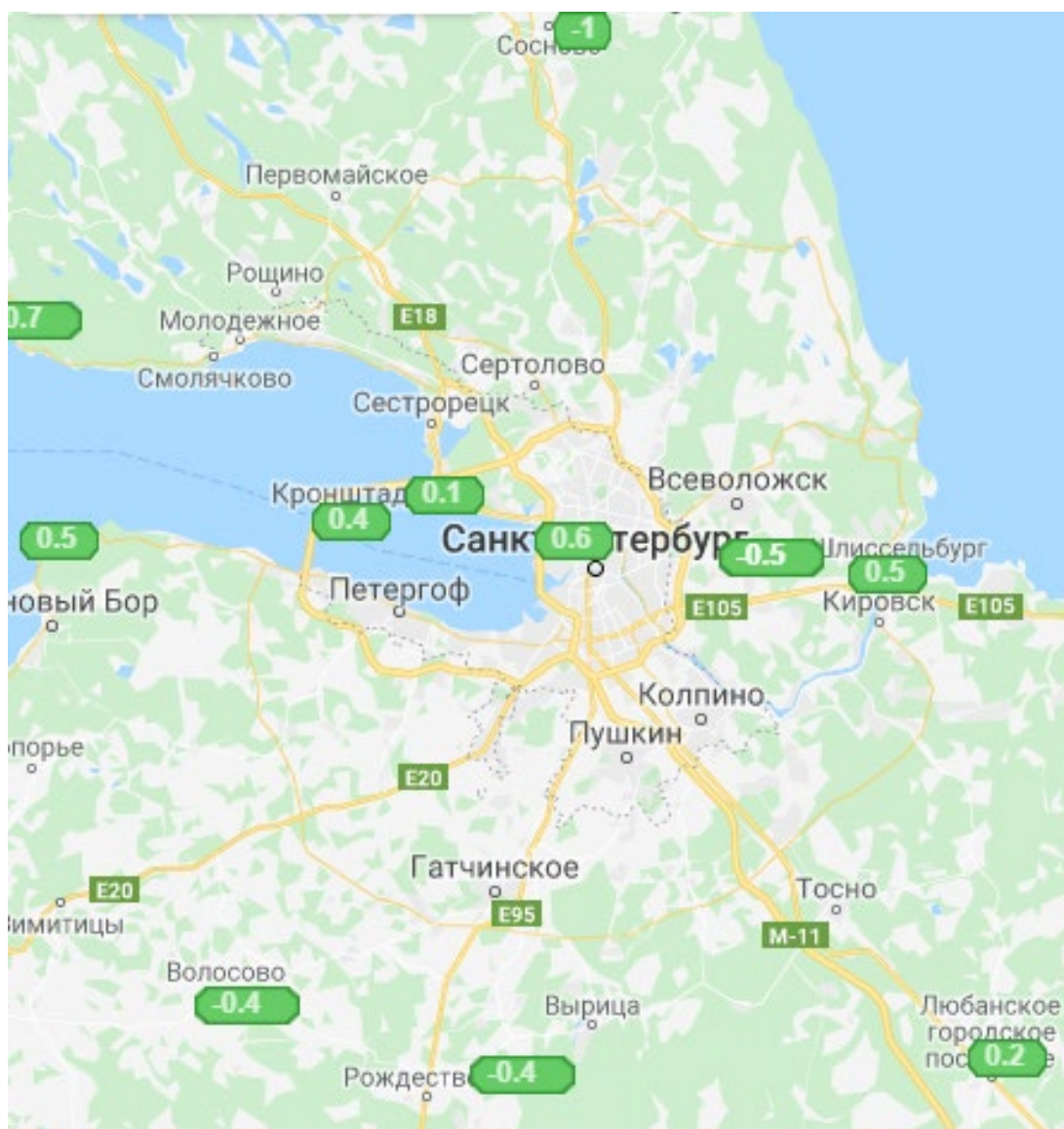


Рисунок 43. Фактическая погода в Санкт-Петербурге и окрестностях по состоянию на 9:00 (мск.) 27.12.2019

Источник: [http://www.meteo.nw.ru/weather/lo_meteod.php]

Из представленных на рисунке данных следует, что температура воздуха на станции, расположенной в центральной части города примерно на 1 °С выше, чем в его окрестностях. Санкт-Петербургская городская метеорологическая станция расположена в одном из центральных районов города (Петроградском) на ул. Профессора Попова, 48. Следует отметить, что в более ранние периоды станция располагалась в ином месте (на Васильевском острове).

Географические координаты метеорологической станции в Санкт-Петербурге: широта 59,97° долгота 30,30° [<http://www.pogodaiklimat.ru/history/26063.htm>]. Географические координаты центра города: 59°57' северной широты и 30°19' восточной долготы [<https://www.gov.spb.ru/helper/day/>]. Отсюда следует, что координаты месторасположения метеорологической станции и географического центра Санкт-Петербурга практически совпадают.

Из данных, представленных на *Рисунке 43*, видно также, что по мере приближения к границам водного источника, температура наружного воздуха, как правило, возрастает, даже если участок суши расположен севернее.

Наличие столь значительного по емкости естественного аккумулятора тепловой энергии оказывает существенное влияние на климат Санкт-Петербурга. В Санкт-Петербурге средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода (минус 1,3 °С) выше, чем в расположенной значительно южнее Москве (минус 2,2 °С).

Однако рассматриваемое влияние имело бы место даже в том случае, если бы территория города не была заселена. В этой связи численная оценка влияния рассматриваемого фактора на климат Санкт-Петербурга в настоящем исследовании не рассматривается.

При этом следует учесть, что антропогенный фактор, пусть и косвенно, но также здесь присутствует, т.к. температура сброса воды (после очистки сточных воды), как правило, оказывается выше температуры водоразбора.

3.3 Влияние солнечной активности

Годовая амплитуда прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе в Санкт-Петербурге составляет от 14 МДж/м² в декабре до 606 МДж/м² в июне (Таблица 5).

Облачность уменьшает в среднем за год приход суммарной солнечной радиации на 21 %, а прямой солнечной радиации на 60 %. Среднегодовая величина суммарной солнечной радиации составляет 3155 МДж/м².

Таблица 5. Средняя величина суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальную поверхности при действительных условиях облачности, МДж/м² (кВт·ч/м²), за отопительный период [РМД 23-16-2019]

Месяц	Величины суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на горизонтальную поверхность, МДж/м ²
Январь	23,9
Февраль	73,1
Март	214,8
Апрель	344,4
Май	541,6
Июнь	606,0
Июль	563,6
Август	416,3
Сентябрь	237,0
Октябрь	93,9
Ноябрь	26,7
Декабрь	14,0
ИТОГО за год	3155,2

Величины суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальную поверхности за отопительный период при действительных условиях облачности, принимаемые в Санкт-Петербурге при проектировании зданий, представлены в Таблице 6.

Таблица 6. Средняя величина суммарной солнечной радиации на горизонтальную и вертикальную поверхности при действительных условиях облачности, МДж/м² (кВт·ч/м²), за отопительный период [РМД 23-16-2019]

Наименование населенного пункта	Горизонтальная поверхность	Вертикальные поверхности с ориентацией на:				
		север	северо-восток/ северо-запад	восток/ запад	юго-восток/ юго-запад	юг
Санкт-Петербург	808 (224)	391 (109)	415 (115)	583 (162)	831 (231)	938 (261)

Следует отметить, что рассматриваемый здесь фактор теплового загрязнения также, как и водные источники, только косвенно зависит от деятельности человека. Вырубка деревьев и кустарников способствует более интенсивному поглощению солнечной радиации поверхностями, т.к. часть поглощаемой солнечной энергии растения используют в процессе фотосинтеза. Дорожные покрытия, фасады и крыши домов поглощают значительную часть солнечной радиации, нагреваются и переотражают ее в окружающее пространство. В этой связи озеленение способствует не только улучшению визуального комфорта городской среды, но и теплового.

3.4 Влияние выработки и потребления тепловой энергии

Данные о потреблении тепловой энергии в населенных пунктах можно извлечь из Схем теплоснабжения. Актуализированная редакция схемы теплоснабжения Санкт-Петербурга размещена на сайте Комитета по энергетике и инженерному обеспечению. В соответствии с данными, представленными в утвержденной редакции схемы теплоснабжения Санкт-Петербурга, в 2018 году суммарная годовая выработка тепловой энергии источниками, расположенными на территории в Санкт-Петербурге, составила 40358,1 тыс. Гкал. Из них 37118,3 тыс. Гкал тепловой энергии было выработано в течение отопительного периода.

Годовая выработка тепловой энергии источниками за несколько последних лет представлена в *Таблице 7*.

Таблица 7. Выработка тепловой энергии в Санкт-Петербурге

Год	Выработка тепловой энергии, тыс. Гкал/год
-----	---

2015	34 396,3
2016	42 540,5
2017	41 508,8
2018	40 358,1

Данные, представленные в *Таблице 7*, графически показаны на *Рисунке 44*.

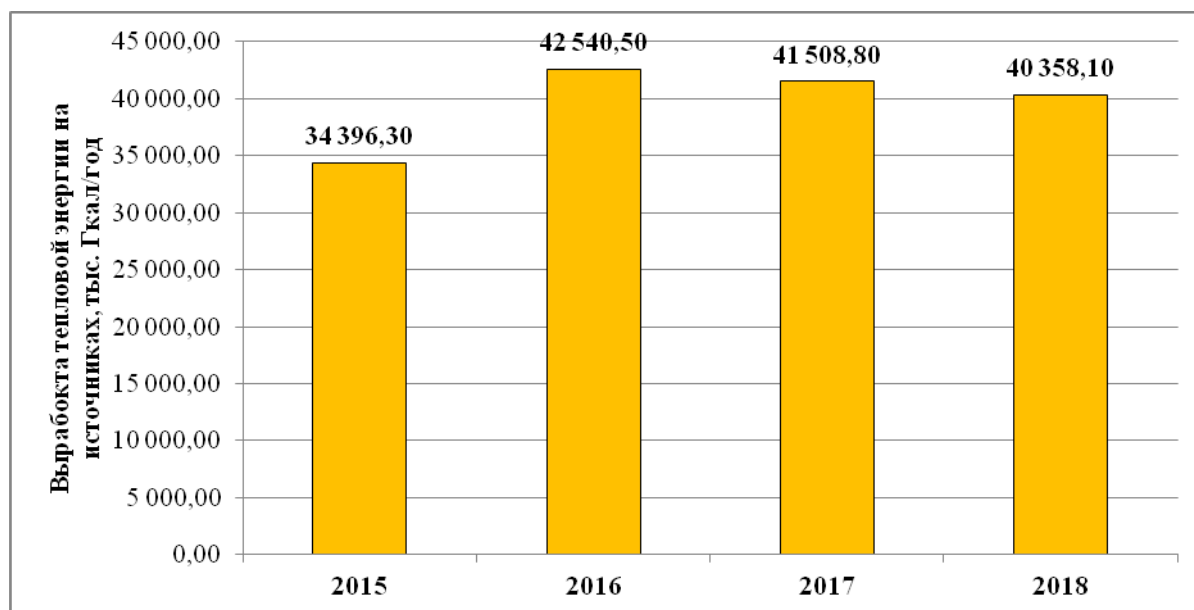


Рисунок 44. Суммарная годовая выработка тепловой энергии в Санкт-Петербурге с 2015 по 2018 гг.

В общем случае можно считать, что вся тепловая энергия, вырабатываемая на источниках, расходуется на поддержание в отапливаемых зданиях комфортных параметров микроклимата, на обеспечение жителей горячей водой, а также на поддержание технологических процессов промышленностью (с учетом потерь тепловой энергии в тепловых сетях). То есть в условиях городской среды выделение тепловой энергии в атмосферу происходит через наружные ограждающие конструкции отапливаемых зданий, а также через поверхность изоляции трубопроводов тепловых сетей, проложенных, как правило, под землей.

Значительная часть тепловой энергии в годовом цикле расходуется на отопление зданий и чем меньше температура наружного воздуха, тем более значительное количество тепловой энергии требуется для восполнения

тепловых потерь через наружную оболочку зданий и поддержания в отапливаемых зданиях нормативных параметров микроклимата.

Для жилых зданий диапазон допустимых значений температуры внутреннего воздуха в холодный период года составляет $18\div 24$ °С, оптимальных – $20\div 22$ °С.

В том случае, если средняя температура внутреннего воздуха превышает расчетную, в зданиях будет наблюдаться перерасход тепловой энергии на отопление по сравнению с расчетным.

Площадь Санкт-Петербурга составляет 1439 км², из них территория высокоплотной застройки составляет 650 км² [<https://www.gov.spb.ru/helper/day/>]. В зоне высокоплотной застройки следует ожидать максимум притока тепловой энергии от зданий и инженерных коммуникаций.

По состоянию на 01.01.2019 в Санкт-Петербурге эксплуатируется более 58000 зданий, при этом общая площадь многоквартирных домов составляет 134,3 млн. м², общая площадь общественно-делового фонда – 73,3 млн. м², общая площадь производственных и промышленно-складских зданий – 25,8 млн. м². Итого общая площадь зданий составляет более 220 млн. м². По мере ввода в эксплуатацию новых зданий спрос на тепловую энергию увеличивается, что способствует увеличению общего расхода тепловой энергии. Отсюда следует, что в год на каждый квадратный метр общей площади эксплуатируемых в Санкт-Петербург зданий в расходуется около 180 Гкал/(м²·год) тепловой энергии.

Количество жителей города по состоянию на 01.01.2020 года составляет 5 398 064 жителей. Таким образом, в среднем на одного жителя приходится приблизительно 8 Гкал/год тепловой энергии.

Выработка и потребление тепловой энергии в городе неравномерны в течение года. Наибольшая выработка тепловой энергии наблюдается при наименьших температурах наружного воздуха, т.к. значительная часть тепловой энергии расходуется на отопление зданий с целью поддержания в

них комфортных параметров микроклимата. Из данных, представленных в Схеме теплоснабжения Санкт-Петербурга, следует, что максимальная расчетная тепловая нагрузка в Санкт-Петербурге в 2019 году составила 14519 Гкал/ч. Летняя нагрузка оказывается значительно меньше. Поэтому основной вклад источников тепловой энергии в тепловое загрязнение города приходится на холодный период года. Это обстоятельство можно считать одной из причин заметного потепления климата в Санкт-Петербурге в холодный период года, что было выявлено ранее при анализе изменений климатических данных.

3.5 Потребление электрической энергии

С достаточной степенью достоверности можно утверждать, что вся расходуемая в городе электрическая энергия преобразуется в тепловую энергию.

Динамика потребления электрической энергии и максимальная потребляемая мощность в Санкт-Петербурге в период 2013-2017 гг. представлены в *Таблице 8*.

Таблица 8. Динамика потребления электрической энергии и изменения максимальной мощности в Санкт-Петербурге

№ п/п	Наименование показателя	2013	2014	2015	2016	2017
1	Электропотребление, млрд. кВт·ч	24,233	24,473	24,355	25,108	25,161
2	Максимум нагрузки, МВт	4017	4283	4183	4374	4011
3	Число часов использования максимума нагрузки, %	6030	5715	5815	5740	6270

Показатели потребления электрической энергии в Санкт-Петербурге по годам графически показаны на *Рисунке 45*, максимумы нагрузки – на *Рисунке 46*.

Как правило, максимум электрической нагрузки в Санкт-Петербурге приходится на зимние месяцы, когда резко уменьшается продолжительность светового дня и возрастает продолжительность использования искусственного освещения зданий и улиц. Также на зимние месяцы

приходится максимум использования мощности электронагревательных приборов.

На основании полученных данных суммарный вклад всех электропотребителей в тепловое загрязнение атмосферы можно оценить в 22 млн. Гкал/год.

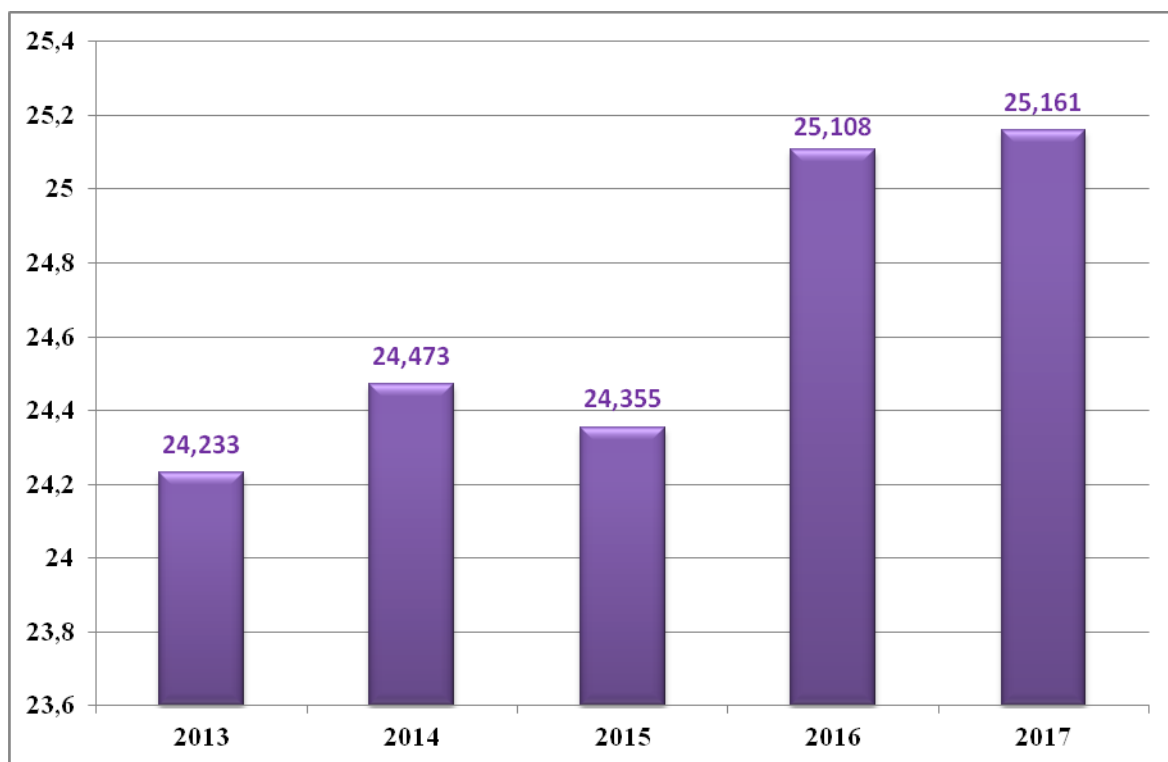


Рисунок 45. Электропотребление в Санкт-Петербурге по годам, млрд. кВт·ч

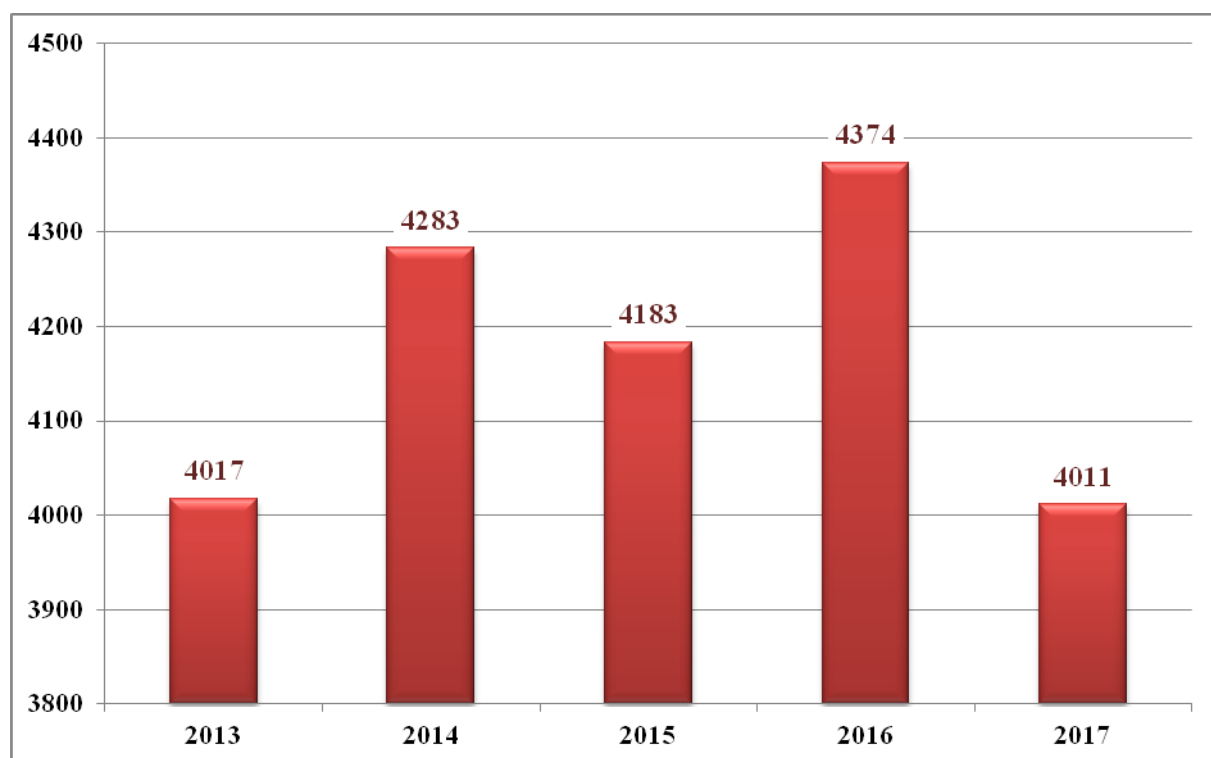


Рисунок 46. Максимумы нагрузки в Санкт-Петербурге по годам, МВт

3.6 Автомобильный транспорт как источник теплового загрязнения городской среды

По данным агентства АВТОСТАТ (<https://www.autostat.ru/news/43449/>) в Санкт-Петербурге зарегистрировано более 1,7 млн. легковых автомобилей. Общий автопарк, включая грузовой и пассажирский транспорт, насчитывает почти 2,5 млн. автотранспортных средств.

Для количественной оценки теплового загрязнения от транспорта примем следующие исходные данные.

По количеству эксплуатируемых автомобилей:

- легковых – 1,7 млн. шт.;
- грузовых – 0,8 млн. шт.

По величине среднего пробега автомобиля в год при городской эксплуатации, км/год [11]:

- легкового – 15 000;
- грузового – 30 000.

Средние путевые расходы топлива, л/км [11]:

- легковые – 10/100;
- грузовые – 20/100.

Тогда суммарный за год расход топлива Q_f , л/год, составит:

$$\begin{aligned} Q_f &= N_{p.tr} \cdot l_{y.p} \cdot q_{f.p} + N_{c.tr} \cdot l_{y.c} \cdot q_{f.c} = \\ &= 1\,700\,000 \cdot 15\,000 \cdot 10/100 + 800\,000 \cdot 30\,000 \cdot 20/100 = \end{aligned}$$

(1)

$$= 7\,350\,000\,000,$$

где $N_{p.tr}$ – количество легковых автомобилей, шт.;

$l_{y.p}$ – средний пробег легкового автомобиля в течение календарного года, км/год;

$q_{f.p}$ – средний путевой расход топлива легковым автомобилем, л/км;

$N_{c.tr}$ – количество грузовых автомобилей, шт.;

$l_{y.c}$ – средний пробег грузового автомобиля в течение календарного года, км/год;

$q_{f.c}$ – средний путевой расход топлива грузовым автомобилем, л/км.

На основании полученных данных произведем расчет выбросов тепловой энергии при эксплуатации автомобильного транспорта в условиях городской среды $Q_{h.tr}$, Гкал/год.

Теплоту сгорания топлива примем равной $4,36 \cdot 10^7$ Дж/кг, плотность – $0,76$ кг/дм³, полноту сгорания топлива в двигателе внутреннего сгорания в условиях движения транспортных средств по городу – 75 %. Получим:

$$\begin{aligned} Q_{h.tr} &= Q_f \cdot \rho_f \cdot q_f \cdot k_f \cdot k_h = \\ &= 7\,350\,000\,000 \cdot 0,76 \cdot 4,36 \cdot 10^7 \cdot 0,75 \cdot 2,39 \cdot 10^{-10} = 43\,656\,266, \end{aligned}$$

(2)

где Q_f – то же, что и в формуле (1), л/год;

ρ_f – плотность топлива, $0,76$ кг/дм³;

q_f – удельная теплота сгорания топлива, $4,36 \cdot 10^7$ Дж/кг;

k_f – коэффициент, характеризующий неполноту сгорания топлива, отн. ед.;

k_h – переводной коэффициент, $2,39 \cdot 10^{-10}$ Гкал/Дж.

Помимо автомобильного транспорта источниками теплового загрязнения в городской среде являются также воздушный, водный, подземный и железнодорожный транспорт, т.е. количество выделяемой транспортом тепловой энергии в городе больше полученного выше численного значения. Однако, автомобильный транспорт среди прочих видов транспорта, является наиболее значительным по величине теплового загрязнения и имеет более равномерное распределение по площади городской агломерации.

Воздушный транспорт вынесен за пределы города, ввиду чего оказывает незначительное влияние на тепловое загрязнение городской среды.

Продолжительность и интенсивность эксплуатации водного транспорта в течение года и в условиях городской среды заметно меньше автомобильного.

Подземный транспорт является одним из наиболее крупных потребителей электрической энергии, т.е. выделяемое им тепло учтено в разделе 3.4. Тепло, выделяемое при работе подземного транспорта, и иные излишки теплоты выносятся в городскую среду при вентиляции подземного пространства.

Железнодорожный транспорт (грузовые и пассажирские поезда дальнего и пригородного следования) оказывает более заметное влияние на тепловое загрязнение городской среды по сравнению с воздушным и водным транспортом, но уступает по интенсивности автомобильному. Его оценка затруднительна ввиду отсутствия необходимых исходных данных, например, распределения железнодорожных транспортных средств, эксплуатируемых в городе, по видам потребления энергетических ресурсов (электричества, различных видов топлива).

Если рассматривать поезда, оснащенные электродвигателями, то они, как и подземный транспорт, относятся к электропотребителям, т.е. являются учтенными. Прирост иных видов транспорта в тепловое загрязнение городской среды можно оценить в 20 %. Если принять данное предположение, то суммарная величина теплового загрязнения городской среды от всех видов транспортных средств может достигать 50 млн. Гкал/год.

Отсюда следует, что тепловое загрязнение атмосферы транспортными средствами в годовом цикле сопоставимо с вкладом от теплопотребления. Оно также зависит от температуры наружного воздуха (в холодный период года часть топлива расходуется на поддержание в салоне автомобиля комфортной температуры воздуха), но не столь выражено по сравнению с

теплопотреблением, пик которого приходится на наиболее холодные периоды года.

В перспективе весь городской общественный транспорт должен становиться бесплатным, а по уровню комфорта сопоставимым с личным автотранспортом. Содержание городского общественного транспорта в этом случае должно осуществляться за счет владельцев транспортных средств, загрязняющих выхлопами городскую среду. В совокупности это позволит значительному количеству жителей города сменить личный транспорт на общественный.

Помимо теплового и экологического загрязнения атмосферы транспорт занимает значительную территорию города, мешает эффективной уборке проезжей части улиц. Если площадь одного машино-места принять:

- для легкового транспорта – 13,25 м²;
- для грузового транспорта (усредненно) – 30 м²,

то применительно для Санкт-Петербурга требуемая для размещения всех автомобилей площадь (в один уровень) составит:

$$S_{und.\backslash auto} = (1\,700\,000 \cdot 13,25 + 800\,000 \cdot 30) / 10^6 = 46,53 \text{ (км}^2\text{)},$$

что более, чем в 1,5 раза больше площади наиболее крупного населенного пункта Ленинградской области, – города Гатчины (площадью 28,75 км², с численностью населения по состоянию на 01.01.2020 – 91 685 чел).

3.7 Тепловыделения от людей

Жители также являются источниками выделения тепловой энергии. Конечно, они являются неотъемлемой частью города. Но их вклад в тепловое загрязнение городской среды также может быть подвергнут оценке.

График изменения численности населения в Санкт-Петербурге представлен на *Рисунке 47*.

Показатели динамики изменения численности населения показывают экспоненциальный рост численности населения с тремя локальными провалами:

- с 1916 по 1920 гг. (падение с 2 415 700 до 740 000);
- с 1939 по 1945 гг. (падение с 3 191 304 до 546 000);
- с 1989 по 2008 гг. (падение с 5 023 506 до 4 568 047).

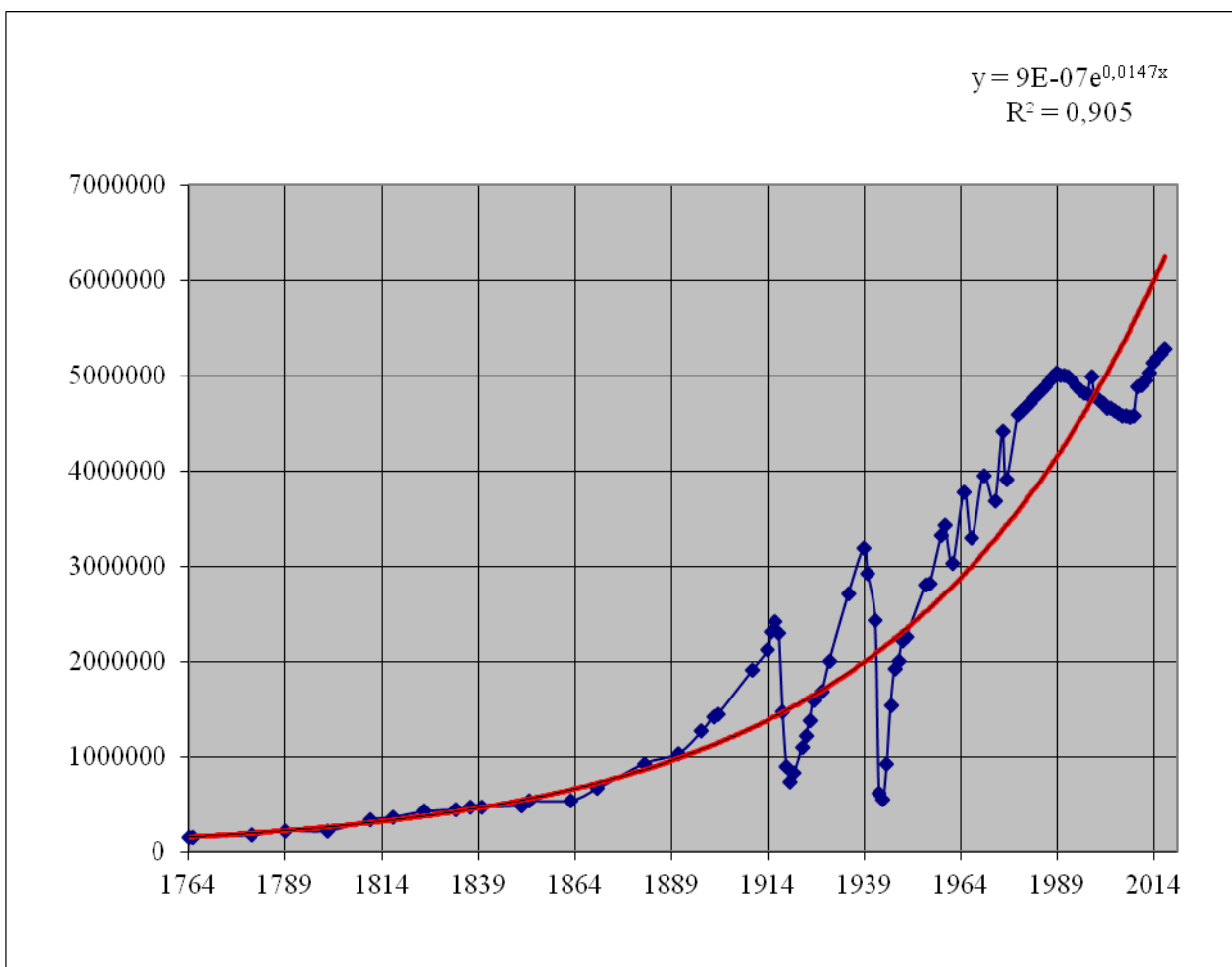


Рисунок 47. Динамика численности населения в Санкт-Петербурге за период с 1764 по 2018 гг.

По состоянию на 01.01.2020 года численность населения Санкт-Петербурга составляло 5 398 064 человека. Фактическое количество жителей, в том числе незарегистрированных, может оказаться значительно больше и по разным оценкам в отдельные периоды года может достигать 7 млн. человек.

Тепловыделения от людей зависят от множества факторов: пола, возраста, вида деятельности человека, иных индивидуальных особенностей его организма, от климатических параметров окружающей среды

(температуры, влажности, ветрового напора) и теплозащитных характеристик его одежды (в холодный период года при нахождении человека на улице).

Значительную часть жизни в мегаполисе современные жители проводят в зданиях (квартирах, офисах, торговых центрах) или общественном транспорте, в которых также поддерживаются определенные параметры микроклимата, близкие к тем, которые устанавливаются в зданиях.

Согласно данным, представленным в ГОСТ 12.1.005, величина энергозатрат, в зависимости от категории деятельности, составляет от 139 (категория Ia) до 290 Вт/чел (категория IIб).

При отсутствии физической нагрузки энергозатраты человека при температуре окружающего воздуха 20 °С составляют около 100 ккал/час, при температуре 10 °С – 150 ккал/час. Энергозатраты детей в зависимости от возраста составляют 50-90 % от энергозатрат взрослого человека.

Примечание. В 2015 году средняя за год температура наружного воздуха в Санкт-Петербурге составила 7,7 °С (*Рисунок 1*).

При нахождении в здании, тепловыделения от людей расходуются на нагрев внутреннего воздуха, т.е. суммируются с тепловым потоком от отопительных приборов и иными источниками теплоты, например, от бытовых электроприборов и от воздействия солнечной радиации, проникающей через светопрозрачные ограждения. Так или иначе весь суммарный поток тепловой энергии через наружную оболочку зданий или за счет вентиляции отапливаемых помещений проникает в окружающую среду.

В СП 60.13330 для учета соответствующих бытовых тепловых поступлений от людей в качестве ориентировочных значений рекомендуется использовать величины, равные от 90 до 160 Вт/чел в зависимости от вида выполняемой работы.

Чем ниже температура окружающего воздуха, выше влажность воздуха и скорость ветрового потока, тем интенсивней следует ожидать теплоотдачу с поверхности человека. В холодный период при нахождении на улице тепловыделения с поверхности человека возрастают. Для компенсации

дополнительных потерь тепловой энергии человек использует более теплую одежду (с более высоким уровнем изоляцией). В первом приближении, тепловыделения при нахождении человека вне отапливаемых помещений в холодный период года можно принять равными тепловыделениям, характерным для тяжелых условий труда.

С учетом рассмотренных выше факторов средние за год тепловыделения от одного человека примем равными 120 ккал/(час·чел). Суммарную численность жителей, с учетом незарегистрированных граждан, а также туристов, посещающих город в течение года (10,4 млн. чел в 2019 году), примем равной 6,2 млн. чел. Введем дополнительное допущение, согласно которому 10 % времени в течение года жители города проводят за пределами города (отпуска, командировки, поездки за город). Продолжительность года примем равной 365 суткам или 8760 часам.

На основании полученных исходных данных произведем оценку суммарных за год поступлений тепловой энергии в городе от всех его жителей. Тогда суммарные тепловыделения в течение года составят:

$$Q_{гор.} = q_p \cdot n_p \cdot k_p \cdot n_y \cdot 24 \cdot 10^{-6} = \\ = 120 \cdot 6\,200\,000 \cdot 0,9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 5\,865\,696 \text{ (Гкал/год)},$$

где q_p – удельные тепловыделения одного жителя, 120 ккал/(час·чел);

n_p – усредненная за год оценка численности населения, чел;

k_p – коэффициент, учитывающий период отсутствия человека в городе в течение календарного года;

n_y – количество суток в году, сут/год;

24 – количество часов в сутках, ч/сут;

10^{-6} – переводной коэффициент из ккал в Гкал.

Следовательно, вклад тепловыделений всех жителей и гостей города в тепловой баланс рассматриваемого населенного пункта можно оценить примерно в 6 млн. Гкал/год.

3.8 Комплексная оценка влияния деятельности человека на тепловое загрязнение городской среды

В настоящем разделе приведена комплексная оценка влияния деятельности жителей мегаполиса на климат и тепловое загрязнение атмосферы (Таблица 9).

Таблица 9. Влияние антропогенных источников на тепловое загрязнение атмосферы

Источник теплового загрязнения	Вклад в тепловое загрязнение окружающей среды, млн. Гкал/год (укрупненно)
Теплопотребление	50
Электропотребление	22
Транспорт	50
Жители	6
ИТОГО	128

В Таблице 9 отражены не все, но наиболее значительные источники теплового загрязнения, обусловленные антропогенным влиянием деятельности человека. В конечном итоге значительная часть вырабатываемой в городе тепловой энергии выносится воздушными массами за пределы города. Однако, в приносимых извне воздушных массах также присутствует тепловая энергия от выбросов тепловой энергии в других местах теплового загрязнения. Таким образом, населенные пункты и крупные промышленные предприятия, расположенные за их пределами, являются основными источниками теплового загрязнения планеты.

Из данных, представленных в Таблице 9, следует, что суммарный вклад антропогенных факторов в тепловое загрязнение атмосферы оценивается приблизительно 128 млн. Гкал/год, значительную долю из которых (более 75 %) составляют теплопотребление и транспорт.

Часть 5

4. Влияние климата на строительную отрасль

Климат оказывает влияние на строительную отрасль, строительные конструкции, инженерную инфраструктуру.

Повышение расчетной и средней за отопительный период года температуры наружного воздуха, уменьшение продолжительности отопительного периода, при корректной настройке режимов регулирования отпуска тепловой энергии на источниках, а также на тепловых вводах в здания, способствует сокращению потребления тепловой энергии на отопление. Тепловые мощности источников тепловой энергии при этом становятся избыточными, снижается эффективность выработки тепловой и электрической энергии. В тоже время, в результате повышения среднегодовой температуры наружного воздуха, а также температуры воздуха в теплый период года, возрастает потребность в электрической энергии для охлаждения воздуха в зданиях (с целью выброса избытков тепла в атмосферу). Увеличение потребления электрической энергии для целей холодоснабжения будет приводить к увеличению теплового загрязнения атмосферы в теплый период года. Тренд развития энергосберегающих технологий смещается таким образом от строительных конструкций к инженерному оборудованию и развитию цифровых технологий в системах тепло- и холодоснабжения [12-30].

Повышение средней за отопительный период года температуры наружного воздуха и приближение ее к нулю градусов по шкале Цельсия приводит к увеличению количества переходов температуры наружного воздуха через 0 °С. Это обстоятельство способствует повышению рисков образования наледей на карнизных свесах скатных крыш, их более интенсивному износу при очистке от наледей, увеличению затрат на последующие ремонты кровельных конструкций и покрытий, а также рисков, связанных с обрушением наледей на прилегающую к зданиям территорию [31-35].

Рост количества переходов через 0 °С оказывает негативное влияние на долговечность ограждающих конструкций, отделочных и облицовочных покрытий (фасадов, кровли), дорожных покрытий. Вопросы влияния климата на строительные конструкции, долговечность облицовочных слоев и

отделочных покрытий, процессы накопления влаги в строительных конструкциях, а также оценка последствий влияния климата на температурно-влажностный режим неотапливаемых помещений рассмотрены в работах [36-43].

В тоже время повышение средней за отопительный период года температуры наружного воздуха способствует уменьшению снеговой нагрузки. Однако, достаточно холодные и снежные зимы 2009/2010 и 2010/2011 гг. в Санкт-Петербурге свидетельствуют о том, что изменение нормативных снеговых нагрузок в настоящее время является преждевременным и требует более длительной экспозиции накапливаемых статистических данных.

Повышение температуры наружного воздуха, особенно заметное в холодный период года, оказывает влияние на температуру и степень водонасыщения грунтов и может приводить к смещению сезонной глубины его промерзания. Это обстоятельство оказывает влияние на эксплуатационные характеристики оснований и фундаментов. В тоже время выявляется дополнительный потенциал тепловой энергии при использовании теплоты грунтового массива [44-45]. В настоящее время ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» совместно с АО «Рыбинский завод приборостроения» и концерном Вега (корпорация Ростех) завершают создание первого в России Комплекса, позволяющего проводить климатические испытания строительных конструкций, отделочных материалов и фасадных систем, а также энергетические испытания инженерного оборудования зданий, изделий и конструкций, предназначенных для использования в особых климатических условиях, в том числе в климатических условиях Арктики.

Существуют и иные признаки влияния изменения климата на строительную отрасль, но уже перечисленные выше показывают, что прогнозирование климата и своевременная реакция на его изменение могут способствовать повышению надежности зданий и строительных

конструкций, безопасности их эксплуатации, уменьшению расходов на строительство и содержание зданий, повышению качества жизни жителей.

5. Заключение

В работе рассмотрена динамика изменения климата Санкт-Петербурга, а также основные факторы, влияющие на тепловой баланс города. Показано, что на динамику изменения климата в городе оказывают влияние, как глобальные тренды, так и внутренние источники тепlopоступлений. В холодный период года величина последних становится значительной и пренебрегать этим фактором при прогнозировании последствий изменения климата для городской среды не следует.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. За период с 1743 по 2018 гг. климат Санкт-Петербурга претерпел значительные изменения.

2. В период с 1743 по 1838 гг. наблюдался ниспадающий тренд изменения температуры наружного воздуха, который к середине XIX изменил свою монотонность на возрастающий. При этом в последние 25 лет прирост температуры наружного воздуха стал более интенсивным.

3. Прирост температуры неравномерен по периодам года, – наиболее интенсивный прирост температуры наблюдается в холодный период года (с октября по апрель) и значительно менее выраженный – в теплый период года (с мая по октябрь).

4. В совокупности это показывает, что на динамику изменения температуры наружного воздуха в Санкт-Петербурге влияют как глобальные тренды изменения климата, так и локальные источники теплового загрязнения окружающей среды, среди которых следует выделить тепло- и электропотребление, а также транспорт.

5. Глобальное потепление климата оказывает влияние на климат Санкт-Петербурга. Но и сам город является крупным источником теплового загрязнения.

6. Вклад Санкт-Петербурга в тепловое загрязнение атмосферы и расположенных на его территории искусственных источников теплового загрязнения оценочно составляет 128 млн. Гкал/год.

7. При сохранении текущего тренда изменения климата в городе приоритет развития строительной отрасли будет постепенно смещаться от конструктивных энергосберегающих мероприятий к инженерным, направленным на повышение эффективности методов контроля, учета и регулирования потоков энергетических ресурсов в городе, цифровизацию сфер энергетики и транспорта и более широкое использование в городской среде возобновляемых источников энергии. Более актуальной задачей станет повышение теплового комфорта жителей не только в холодный, но и в теплый период года, т.е. развитие систем охлаждения и кондиционирования, в т.ч. за счет использования возобновляемых источников энергии (тепловых насосов).

6. Список литературы

1. Gorshkov, A.S. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city / A.S. Gorshkov, N.I. Vatin, P.P. Rymkevich // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. Volume 89. Article No 8902. doi:10.18720/CUBS.89.2.
2. Володин, Е.М. Воспроизведение и прогноз климатических изменений в XIX-XXI веках с помощью модели земной климатической системы ИВМ РАН / Е.М. Володин, Н.А. Дианский, А.В. Гусев // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 4. С. 379-400.
3. Спорышев, П.В. Пространственно-временные особенности глобального потепления / П.В. Спорышев, В.М. Катцов // ДАН. 2006. Т. 41. № 4. С. 1–6.
4. Мохов, И.И. Оценки глобальных и региональных изменений климата в XIX–XXI веках на основе модели ИФА РАН с учетом антропогенных воздействий / И.И. Мохов, П.Ф. Демченко, А.В.

- Елисеев и др. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. № 5. С. 629–642.
5. IPCC Third Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J. et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.
 6. IPCC Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds: Solomon S.D., Qin D., Manning M. et al. Chambridge: Chambridge University Press, 2007. 996 p.
 7. Погода и климат: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/26063.htm> (дата обращения: 24.04.2020).
 8. Слепцов, А.М. Обобщение палеоклиматических данных и реконструкция климата восточной Европы за последние 2000 лет / А.М. Слепцов, В.В. Клименко // История и современность. 2005. № 1. С. 118-135.
 9. О климате прошлого Русской равнины / И. Е. Бучинский. – 2-е изд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1957. – 142 с.
 10. Урочное положение. Пособіе при составленіи и провѣркѣ смѣтъ, проектированіи и исполненіи работъ / под ред. Н.И. де-Рошефоръ. – Изд. шестое, исправленное. – Петроградъ. Складъ изданія у К.Л. Риккера, 1916. – 694 с.
 11. Воробьев С.А. Автомобили, автомобильное хозяйство и автомобильный сервис: учебно-методическое пособие. – СПб.: Научное издание, 2020. – 106 с.
 12. Табунщиков, Ю.А. Экономическая эффективность энергосберегающих инвестиций / Ю.А. Табунщиков, И.Н. Ковалев // Энергосбережение. – 2019. – № 1. – С. 10-13.
 13. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М. : АВОК–ПРЕСС, 2002. – 194 с.

14. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
15. Табунщиков, Ю.А. Экономическая эффективность энергосберегающих инвестиций / Ю.А. Табунщиков, И.Н. Ковалев // Энергосбережение. – 2019. – № 1. – С. 10-13.
16. Аверьянов, В.К. Теплоснабжение городов в контексте развития активных потребителей интеллектуальных энергетических систем / В.К. Аверьянов, Ю.В. Юферев, А.А. Мележик, А.С. Горшков // Academia. Архитектура и строительство. – 2018. – № 1. – С. 78-87.
17. Аверьянов, В.К. Повышение эффективности централизованного теплоснабжения существующего жилого фонда / В.К. Аверьянов, А.С. Горшков, Г.П. Васильев // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 6 (71). – С. 99-111.
18. Аверьянов, В.К. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий / Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С. и др. // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2-4.
19. Ливчак, В.И. Автоматизация регулирования подачи и учета тепла / В.И. Ливчак // АВОК. – 1998. – № 4. – С. 44–51.
20. Дацюк, Т.А. Инженерные аспекты энергосбережения зданий / Т.А. Дацюк // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – № 5. – С. 326–328.
21. Грановский, В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы / В.Л. Грановский // АВОК. – 2011. – № 8. С. 40–47.
22. Грановский, В.Л. Оптимизация затрат на эксплуатацию здания / В.Л. Грановский, С.И. Пржижецкий // Энергосбережение. – 2014. – № 3. С. 14–19.

23. Бродач, М.М. Здание с близким к нулевому энергетическим балансом // М.М. Бродач, В.И. Ливчак // АВОК. – 2011. – № 5. – С. 4-9.
24. Колубков, А.Н. Использование программного обеспечения в процессе проектирования инженерных систем зданий / А.Н. Колубков, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2010. – № 4. – С. 66-75.
25. Аверьянов, В.К. Возобновляемые источники энергии в обеспечении эффективного энергосбережения потребителей / В.К. Аверьянов, В.Н. Толмачев, Ю.В. Юферев, М.А. Журавский // БСТ. Бюллетень строительной техники. – 2010. – № 12 (916). – С. 8-11.
26. Васильев, Г.П. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии / Г.П. Васильев. – М. : Москомархитектуры, 2001. – 66 с.
27. Васильев, Г.П. Гибридные теплонасосные системы теплохладоснабжения / Г.П. Васильев // Энергосбережение. – 2009. – № 5. – С. 20-29.
28. Горшков, А.С. Влияние климата на энергопотребление зданий / А.С. Горшков, П.П. Рымкевич, А.А. Романова // Энергосбережение. – 2017. – № 3. – С. 16-21.
29. Горшков, А.С. Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии : учеб. пособие / А.С. Горшков. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2013. – 160 с.
30. Горшков, А.С. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии / А.С. Горшков, Д.В. Дерунов, В.В. Завгородний // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3 (8). С. 12-23.
31. Горшков А.С., Ватин Н.И., Урустимов А.И., Рымкевич П.П. Расчетный метод обоснования технологических мероприятий по

- предотвращению образования ледяных дамб на крышах зданий со скатной кровлей // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 3 (29). С. 69-73.
32. Горшков А.С. Оценка воздухообмена, требуемого для нормализации температурно-влажностного режима холодных чердаков / А.С. Горшков, А.Ю. Дадченко, В.Я. Ольшевский, П.П. Рымкевич // Кровельные и изоляционные материалы. – 2016. – № 4. – С. 33-36.
33. Горшков, А.С. Причина образования ледяных дамб на крышах зданий / А.С. Горшков // Кровельные и изоляционные материалы. – 2014. – № 6. – С. 34-37.
34. Романова, А.А. Комплексное решение по устранению причин образования наледей на крышах зданий / А.А. Романова, П.П. Рымкевич, А.С. Горшков // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2015. – № 3. – С. 15-19.
35. Vatin, N. The method and computation of air change required for attic rooms / N. Vatin, A. Gorshkov, A. Dadchenko, P. Rymkevich, V. Olshevskiy // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2017. – № 2. – P. 50-60.
36. Горшков, А.С. Оценка долговечности стеновой конструкции на основании лабораторных и натуральных испытаний / А.С. Горшков // Строительные материалы. 2009. № 8. С. 12-17.
37. Горшков, А.С. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича / А.С. Горшков, М.В. Кнатько, П.П. Рымкевич // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8 (10). С. 20-26.
38. Кнатько, М.В. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий / М.В. Кнатько, М.Н.

- Ефименко, А.С. Горшков // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 2 (2). С. 50-53.
39. Орлович, Р.Б. Применение камней с высокой пустотностью в облицовочном слое многослойных стен / Р.Б. Орлович, А.С. Горшков, С.С. Зимин // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8 (43). С. 14-23.
40. Горшков, А.С. Конструктивное исполнение вентилируемого фасада повышенной надежности / А.С. Горшков, Д.Ю. Попов, А.В. Глумов // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8 (18). С. 5-8.
41. Корниенко, С.В. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6 (33). С. 19-33.
42. Корниенко, С.В. Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, А.С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6 (45). С. 34-54.
43. Немова, Д.В. Воздушный режим трехслойной стеновой конструкции / Д.В. Немова, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, С.В. Корниенко, А.С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6 (45). С. 102-114.
44. Васильев, Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных установках / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2003. – № 2. – С. 52-62.
45. Васильев, Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России / Г.П. Васильев // АВОК. – 2007. – № 5. – С. 58-74.