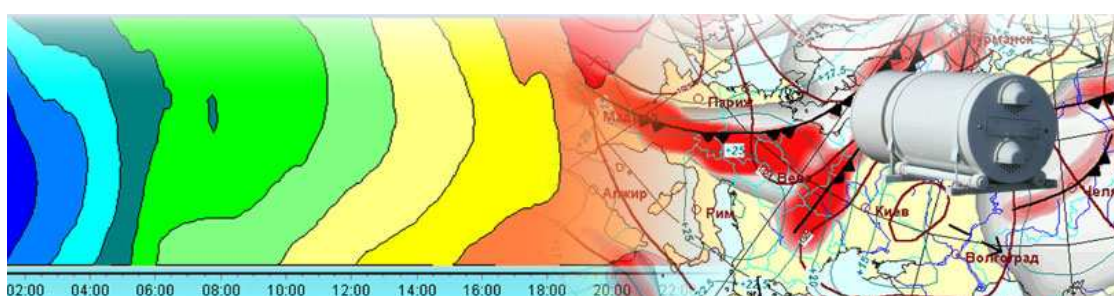


МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

Справочное пособие

«Характеристики температуры
в нижнем 600-метровом слое атмосферы
по данным профиломеров МТП-5».



г. Москва – 2012 г.

1. Разработаны: Федеральное государственное бюджетное учреждение “Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации” (*И.Н.Кузнецова, М.И.Нахаев, И.Ю.Шалыгина*), Федеральное государственное бюджетное учреждение “Центральная Аэрологическая обсерватория” (*Е.Н.Кадыгров, Е.А.Миллер*), АНО «Гидрометеорологическое Бюро Москвы и Московской области» (*А.А.Ляхов*)

2. Утверждены ЦМКП Росгидромета «13» декабря 2012 года.

СОДЕРЖАНИЕ		Стр
	ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1	ИЗМЕРЕНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	8
1.1	<i>Измерения температуры в нижнем 600-метровом слое приборами МТП-5</i>	8
1.2	<i>Общая характеристика использованных данных</i>	10
1.3	<i>Основные обозначения</i>	13
2	ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНОСТИ УСТАНОВКИ ПРИБОРОВ	15
3	СРЕДНЯЯ ГОДОВАЯ И СРЕДНЯЯ МЕСЯЧНАЯ ТЕМПЕРАТУРА В СЛОЕ 0-600 М	18
3.1	<i>Характеристики использованных материалов и пояснения к таблицам и рисункам</i>	18
3.2	<i>Средняя годовая температура в слое 0-600 м</i>	21
3.3	<i>Средняя за месяц приземная температура</i>	23
3.4	<i>Разность температуры в слое 0-600 м между центром и пригородом</i>	24
3.5	<i>Средняя температура слоя в центре города</i>	25
4	ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ В НИЖНЕМ 600 – МЕТРОВОМ СЛОЕ В ЦЕНТРЕ И ПРИГОРОДЕ	26
4.1	<i>Характеристики использованных материалов, пояснения к таблицам и рисункам</i>	26
4.2	<i>Средняя за год величина градиента температуры в слоях 0-100м, 0-200, 0-300, 0-400, 0- 500 и 0-600 м</i>	28
4.3	<i>Средний за месяц градиент температуры в центре города в слое 0-100, 0-200, 0-300, 0-400, 0- 500 и 0-600 м</i>	28
4.4	<i>Средний за месяц вертикальный градиент в центре и пригороде</i>	28
4.5	<i>Повторяемость градиентов температуры в слое 0-100 м в центре и пригороде</i>	31
4.6	<i>Повторяемость разности градиентов температуры в слое 0-100 м в центре и пригороде</i>	32
4.7	<i>Сезонные изменения вертикального градиента температуры в слое 0-100 м в центре и пригороде</i>	33
5	СРЕДНИЙ СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ В СЛОЕ 0-600 М В ЦЕНТРЕ ГОРОДА И ПРИГОРОДЕ	36
5.1	<i>Характеристики использованных материалов и пояснения к таблицам и рисункам</i>	36
5.2	<i>Средний годовой суточный ход температуры в слое 0-600 м в центре города</i>	37
5.3	<i>Средний месячный суточный ход температуры в слое 0-600 м в центре города</i>	38

5.4	<i>Внутрисуточные разности температуры между центром и пригородом в отдельные годы</i>	42
5.5.	<i>Суточный ход разности средней за месяц температуры между центром и пригородом на высотах 0, 100, 200 и 300 м</i>	45
5.6	<i>Средняя годовая разность температуры между центром и пригородом</i>	47
6	ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МТП-5	48
6.1	<i>Экстремальные величины разности температуры центр-пригород</i>	48
6.2	<i>Экстремальные величины вертикального градиента температуры в слое 0-100м</i>	52
6.3	<i>Усиление термической устойчивости АПС при задымлении воздуха продуктами лесных пожаров</i>	52
6.4	<i>Особенности термической структуры АПС в условиях аэрозольного загрязнения.</i>	54
6.5	<i>Изменение термической структуры АПС при перемещении атмосферного фронта</i>	55
6.6	<i>Характеристики температурных инверсий по измерениям МТП-5 в Красноярске, Оренбурге и Астрахани</i>	56
6.6.1	<i>Повторяемость (%) приземной и приподнятой инверсии температуры в Красноярске, Оренбурге и Астрахани</i>	56
6.6.2	<i>Характеристики величины температурной инверсии при максимальном ее развитии в Красноярске, Оренбурге и Астрахани</i>	57
	Литература	60

Предисловие

В 1982 г. Институтом экспериментальной Метеорологии под редакцией д-ра ф-м. наук Н.Л.Бызовой подготовлено издание «ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЖНЕГО 300-МЕТРОВОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ВЫСОТНОЙ МАЧТЕ», где представлены обобщения наблюдений за температурными и ветровыми характеристиками, полученные по данным измерений на высотной метеорологической мачте в Обнинске с 1964 по 1975 гг., а также по менее продолжительным наблюдениям на телебашне Останкино в Москве. Аналогичные материалы в последние десятилетия не опубликованы.

Интенсивная урбанизация за прошедшее время, безусловно, сказалась на термическом режиме и Обнинска, и Москвы. И появление новых технических средств (профилемеров МТП-5) для наблюдений температуры в нижних слоях атмосферы в московском регионе и некоторых городах России позволили получить новые данные о термической структуре городского пограничного слоя. Особенности термического режима нижних слоев атмосферы в отдельные сезоны, при различных синоптических ситуациях, при загрязнении атмосферы продуктами лесных и торфяных пожаров частично представлены в научных публикациях (см. раздел Литература).

Для практического использования данных измерительного комплекса МТП-5 в 2002 г. подготовлена Инструкция «Оперативное использование данных микроволновых дистанционных профилемеров для уточнения сверхкраткосрочного прогноза метеорологических элементов и явлений». С учетом результатов анализа данных микроволновых измерений в трех пунктах установки МТП-5 в московском мегаполисе, а также опыта оперативного использования данных МТП-5 на протяжении почти 10 лет в лаборатории метеорологических условий загрязнения атмосферы ФГБУ «Гидрометцентр России» подготовлены «Методические рекомендации по использованию данных профилемеров МТП-5». Методические рекомендации

утверждены Центральной методической комиссией по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета и рекомендованы для внедрения в прогностических организациях и учреждениях Росгидромета, где проводятся измерения приборами МТП-5 (*Решение ЦМКП Росгидромета от 26 апреля 2010 г.*).

В настоящем пособии представляются результаты систематизации данных наблюдений вертикальных профилей температуры в нижнем 600-метровом слое атмосферы в центре Москвы (здание Гидрометцентра, Красная Пресня) и г. Долгопрудный (Центральная аэрологическая обсерватория) в период 2004 - 2010 гг. К сожалению, статус экспериментальных наблюдений в п. Долгопрудный, не предъявляет требований к строгой регулярности наблюдений, что отразилось на полноте рядов данных наблюдений в 2007-2009 гг: практически без пропусков в центре Москвы и со значительными интервалами отсутствия измерений в пригороде (г. Долгопрудный). Несмотря на ограниченность дополнительных материалов в последние годы, сделана попытка сформировать статистически надежные синхронизированные ряды данных в двух разнесенных пунктах.

В Пособии представлены характеристики термического состояния пограничного слоя, его характерные сезонные и внутрисуточные изменения в центре мегаполиса. Аналогичные характеристики, полученные в ближнем пригороде Москвы, дают возможность проводить сравнения и получить представление о количественных показателях вклада городских источников, о пространственно-временной зависимости их влияния. В разделе 3 приводятся данные по результатам измерений МТП-5 также в городах Н.Новгород, Красноярск.

В Пособии приводятся некоторые экстремальные величины показателей термического состояния нижних слоев городского пограничного слоя в Московском регионе, а также характеристики температурных инверсий, полученные по данным измерений приборами МТП-5 в трех

пунктах - Красноярск, Оренбург, Астрахань, расположенных в разных климатических районах нашей страны.

В разделе «Литература» представлен список научных публикаций, посвященных методам измерений приборами МТП-5, методике обработки, сравнению результатов измерений приборами МТП-5 с измерениями вертикального распределения температуры в пограничном слое атмосферы другими приборами, а также анализ данных МТП-5, их интерпретация по наблюдениям в основном с 2000 по 2007 гг.

1. ИЗМЕРЕНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

1.1 Измерения температуры в нижнем 600-метровом слое приборами МТП-5

Разработанные в Центральной аэрологической обсерватории («ЦАО») в Лаборатории дистанционного зондирования (ЛДЗ) микроволновые температурные профилемеры МТП-5 обеспечивают практически непрерывные автоматизированные измерения профилей температуры в диапазоне высот 0-600 м с погрешностью 0.5 С [1-7]. Данные приборы прошли успешные сравнения с традиционными средствами измерений - радиозондами, привязными аэростатами, датчиками температуры на высотных метеорологических мачтах [8-10]. Приборы сертифицированы Госстандартом России (сертификат № 5539 RU.C.32.002.A от 1 октября 1998 г.); а Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (сертификат № 30387 RU.C.32.002.A от 13 февраля 2008 г.) внесены в Государственный реестр средств измерений под № 17795-98. Кроме того имеется Свидетельство Росгидромета (№ Р/04/0015/100/С) об использовании приборов на наблюдательной сети при проведении работ в области гидрометеорологии и смежных с ней областях, мониторинга окружающей среды, ее загрязнения.

Принцип действия дистанционного микроволнового профилемера МТП-5 показан на рисунке 1.1. Прибор основан на приеме собственного теплового излучения атмосферы в максимуме полосы поглощения молекулярного кислорода на частоте 60 ГГц на разных углах места с помощью высокочувствительного сканирующего СВЧ радиометра.

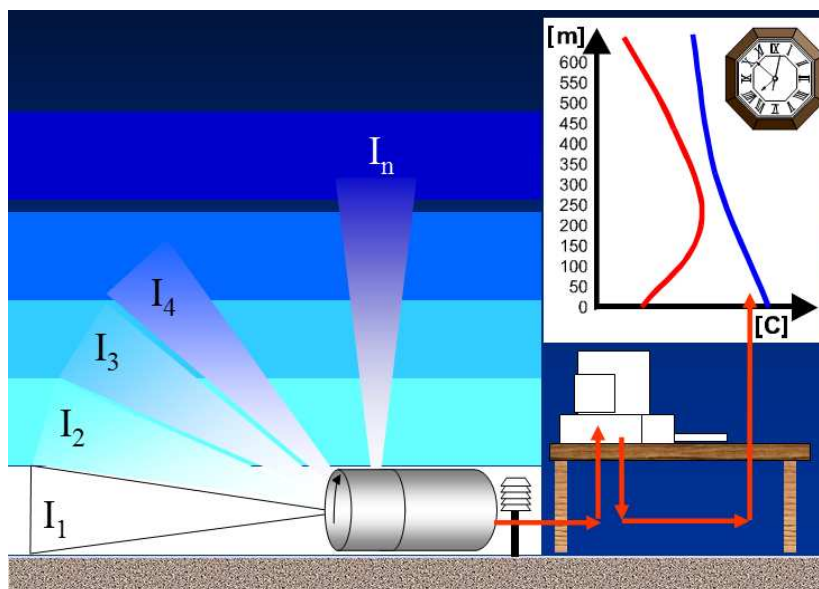


Рисунок 1.1 - Принцип действия микроволнового температурного профилера МТП-5 (сканирующий СВЧ радиометр)

Специальным алгоритмом и программой в автоматическом режиме производится пересчет измеренной зависимости радиояростной температуры от угла наблюдений в значения термодинамической температуры на высотах.

Измерения с помощью приборов МТП-5 практически всепогодны; сбои в измерениях происходят при отключении электричества, возможны при грозе, гололеде, сильном задымлении или при прохождении смерча.

1.2 Общая характеристика использованных данных

Использованные материалы включают данные о температуре воздуха, полученные в двух различных режимах мониторинга термического состояния: оперативном (с регулярными непрерывными измерениями прибором МТП-5) и в экспериментальном режиме, который предполагает непрерывные измерения в течение определенного промежутка времени. В отличие от наблюдений во всех пунктах измерения в ЦАО (г. Долгопрудный) проводятся в экспериментальном режиме. Самые полные и самые продолжительные ряды данных МТП-5 получены по наблюдениям в центре Москвы благодаря поддержке Московского гидрометеорологического бюро погоды,.

Представленные в Пособии справочные материалы основаны на обработке данных за последний трехлетний период 2007-2009 гг.; часть информации приводится по материалам анализа данных за период 2004 - 2007 гг.

Приведенные материалы позволяют получить представление о термическом состоянии городского пограничного слоя, его характерных сезонных и внутрисуточных изменениях; на их основе имеется возможность проводить сравнения термических характеристик в центре и ближнем северном пригороде (г. Долгопрудный), который находится в тепловом шлейфе Московского мегаполиса. Температурные характеристики по данным измерений МТП-5 в Долгопрудном представляют и самостоятельный интерес, поскольку они проводятся рядом с пунктом радиозондирования, данные которого принято считать стандартом информации о вертикальном распределении метеорологических величин. В таблице 1.1 приводятся сведения о полноте данных измерений в центре Москвы в период 2007 - 2009 гг. За 100 % принималось отсутствие пропусков в измерениях профилей температуры с временным интервалом 10 мин. Отметим, что низкий уровень заполнения базы данных в отдельные месяцы (например, июнь 2008, июль

2009 г) – следствие технических сбоев в работе аппаратуры в экстремальных погодных условиях (гроза, град).

Таблица 1.1 – Заполнение (%) базы данных средней часовой температуры. Москва, центр. 2007-2009 гг.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2007	92	98	100	100	100	91	100	96	100	97	100	85
2008	100	100	100	100	97	35	62	88	89	100	93	95
2009	87	100	90	100	100	91	39	85	100	86	95	66

Вследствие экспериментального статуса измерений МТП-5 в ЦАО в рядах наблюдений в пригороде имеются существенные пропуски, что при сравнении термического режима в центре и на окраине мегаполиса может привести к искажению результатов. Для устранения такого рода ошибок проведена синхронизация данных в двух пунктах измерений; в таблице 1.2 приводятся показатели заполнения базы синхронизированных данных.

Таблица 1.2 – Заполнение (%) базы данных средней часовой температуры синхронизированных измерений в центре и пригороде. 2007-2009 гг.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2007	87	96	86	29	29	66	44	38	30	54	0	0
2008	16	48	0	20	70	32	6	28	17	22	73	29
2009	86	85	53	83	11	69	37	47	0	22	57	0

При выборе месяцев с репрезентативными данными учитывалось не только заполнение согласованной базы данных, но и результаты осреднения, полученные по независимым данным в центре города, которые в свою очередь, сравнивались с данными наблюдений на московских метеостанциях Балчуг и ВДНХ, ближе других расположенных к пунктам измерений приборами МТП-5.

При подготовке материалов для 6 раздела использованы данные различных годов, в т.ч. 2010 года, лето которого выдалось аномально сухим и жарким с продолжительным периодом сильного регионального загрязнения атмосферы. В этом же разделе приводятся некоторые характеристики

температурных инверсий в трех городах, расположенных в различных физико-географических и климатических регионах страны - г.Красноярск, г.Оренбург, г.Астрахань; иллюстрации получены по измерениям профилей температуры приборами МТП-5.

1.3 Основные обозначения

h высота (м) $h = 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600$ м

T температура °C

T(τ) средняя часовая температура °C

γ вертикальный градиент температуры °C/100м, разность температуры на нулевом уровне измерений и температуры на высоте h , приведенная к размерности °C/100м

T_r(h) средняя за год температура воздуха на высоте h

T_м(h) средняя месячная температура воздуха на высоте h

$\Delta T_r(h)$ – отклонение средней годовой температуры на каждом уровне измерений от средней за год приземной температуры воздуха

$$\Delta T_r(h) = T_r(h) - T_r(h_0), \quad (1)$$

где $T_r(h_0)$ – средняя за год приземная температура воздуха

$\Delta T_r(h)_{ц-п}$ разность средней за год температуры в центре и пригороде Москвы

$\gamma(\Delta h)$ средний за месяц вертикальный градиент температуры в слое; определяется как разность температуры на нулевом уровне измерений и температуры на высоте h , приведенная к размерности °C/100м

$$\gamma(\Delta h) = (T(h_0) - T(h))/0,01h \quad (2)$$

где $\Delta h = [h(i) - h(0)]$, i – номер высоты,

$i = 1, 2, \dots, 6$ соответственно для $h = 100, 200, \dots, 600$ м

CO среднеквадратичное отклонение:

$$CO = \sqrt{\frac{\sum (\Delta T(h) - \overline{\Delta T(h)})^2}{n-1}}; \quad (3)$$

В Пособии используются сокращенные обозначения различающихся объемом баз данных, по которым рассчитывались термические характеристики.

НБД – независимая база данных, максимально заполненная данными измерений в центре города. По этим данным рассчитывались характеристики температуры для центра города; предназначена для характеристик термического режима в центре мегаполиса. Сравнение с аналогичными характеристиками, полученными по СБД, некорректно из-за разницы использованных рядов наблюдений.

СБД – синхронизированная база данных, составлена из результатов только одновременных (синхронных) наблюдений в центре и пригороде; при отсутствии наблюдений в одном из пунктов данный срок пропускался. СБД предназначена для сравнения температурных характеристик в центре и в пригороде

2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТНОСТИ УСТАНОВКИ ПРИБОРОВ

Прибор МПТ-5 на территории ЦАО. Центральная аэрологическая обсерватория расположена на слабопересеченной местности, типичной для средней полосы Европейской территории России, на северной окраине города Москвы (около 20 км от центра города) в промышленной зоне города Долгопрудного. Высота места 200 метров над уровнем моря, высота здания на крыше, которого установлен прибор, 20 метров. Направление сканирующего луча ориентировано на местность с малоэтажной застройкой сельского типа и лесным массивом (рис. 2.1)

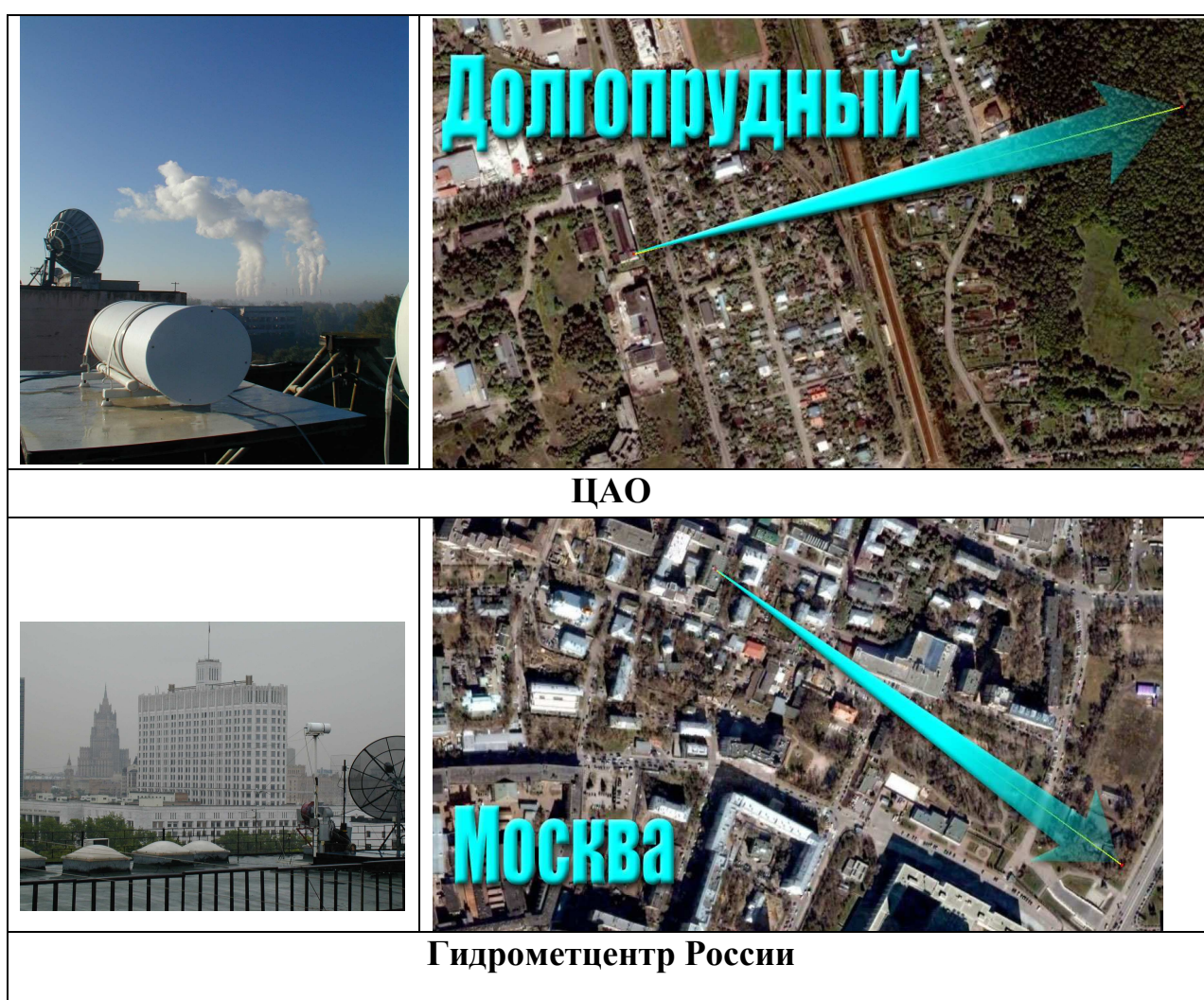


Рисунок 2.1. Карта с пунктами установки МПТ-5 в пригороде (верх) и центре Москвы (синим показано направление луча сканирования).

Прибор МТП-5 в центре Москвы. Прибор, установленный в центральной части Москвы на Красной Пресне на крыше Гидрометцентра России, ориентирован на сканирование в юго-восточном направлении поверх крыш зданий, в сторону здания Правительства России (рис.2.1). Высота установки прибора – около 25 м. Как видно, значительных источников тепла на пути сканирующих лучей в обоих пунктах не просматривается, водные объекты также находятся вне зоны сканирования.

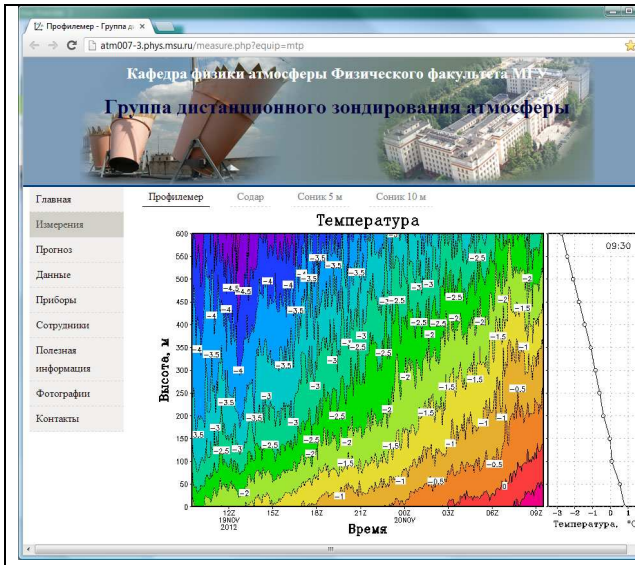
Пункт в ЦАО относится к категории «ближний пригород» или окраина мегаполиса. Ниже этот пункт будет кратко обозначаться «пригород». Пункт измерений на Красной Пресне попадает в ареал центральной части города Москвы, ниже этот пункт будет условно обозначаться «центр».

На рис. 2.2. показаны окрестности места установки приборов МТП-5 в городах в Красноярске и Нижнем Новгороде, данные измерений в которых использованы при подготовке Пособия



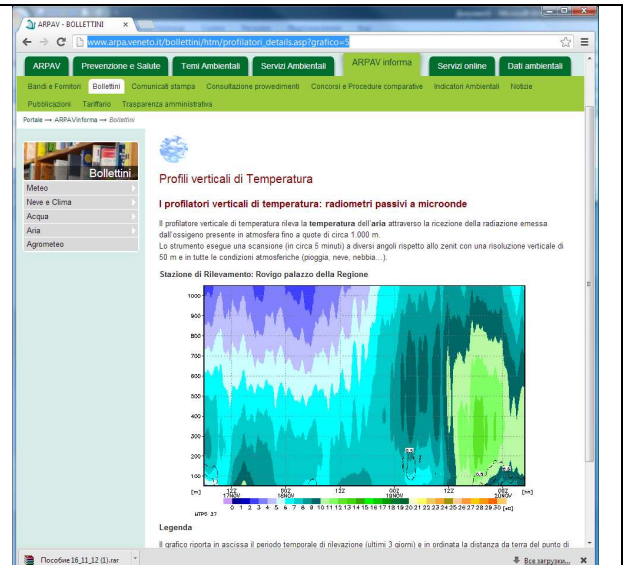
Рисунок 2.2. Место установки МТП-5 в Красноярске и Нижнем Новгороде

Ниже приводятся ссылки на сайт - страницы организаций в пунктах дистанционного зондирования МТП-5: Москва (МГУ, физфак), район Венеции (северо-восток Италии), г. Берген (юг Норвегии) и г. Сиэтл (США).



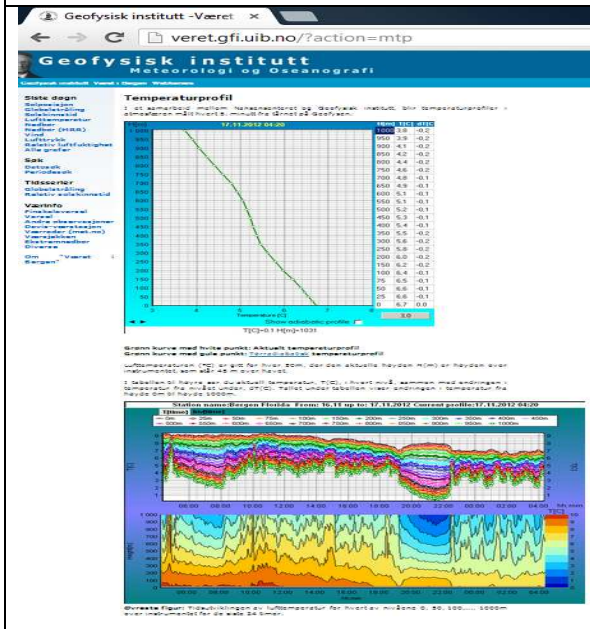
<http://atm007-3.phys.msu.ru/measure.php>

Физфак МГУ, Москва



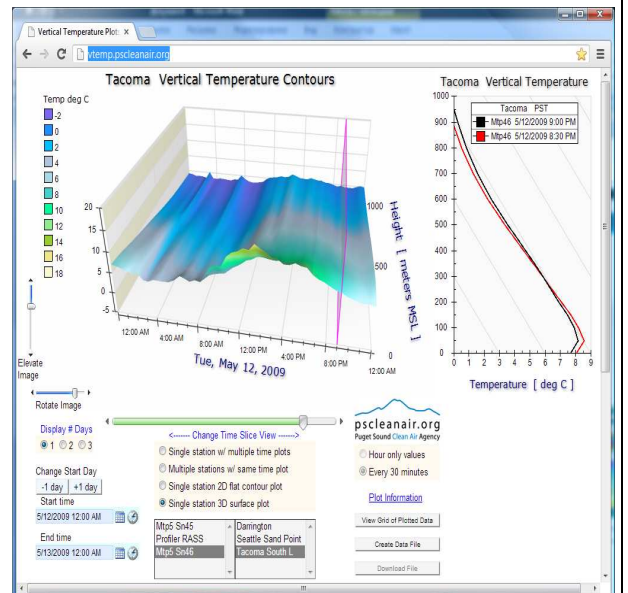
<http://www.arpa.veneto.it/bollettini/htm/profilatori.asp>

Италия, северо-восток, район Arpa.veneto (окрестности г. Венеции)



<http://veret.gfi.uib.no/?action=mtp>

Юг Норвегии, г. Берген



<http://vtemp.pscleanair.org/>

Северо-запад США, шт. Вашингтон, г. Сиэтл (прибрежная станция)

3. Средняя годовая и средняя месячная температура в слое 0-600 м

3.1 Характеристики использованных материалов и пояснения к таблицам и рисункам

В разделе представляются результаты анализа измерений профилей температуры приборами МТП-5 в период с 2004 по 2009 гг. Большая часть представленного материала подготовлена по синхронизированным измерениям в центре Москвы и северном ближнем пригороде - г. Долгопрудный; часть результатов с термическими характеристиками нижних слоев атмосферы в центре Москвы получена по независимой базе данных в период 2007 - 2009 гг. Материалы, посвященные вертикальному распределению температуры в пунктах Нижний Новгород и Красноярск, получены по измерениям МТП-5 в этих городах в период 2004-2007 гг.

Расчет средней годовой $T_r(h)$ и средней месячной $T_m(h)$ температуры на высотах в слое измерений 0-600 м проводился путем осреднения срочных наблюдений за соответствующий период. Рисунок 3.1 иллюстрирует вертикальный профиль средней годовой температура $T_r(h)$ в слое 0 - 600 м, полученный осреднением всех имевшихся наблюдений в центре города за 3 года (2007-2009 гг.), в таблице 3.1 показана средняя годовая температура на высотах 0 до 600 м через 50 м в отдельные годы в период 2007-2009 гг, $T_r(h)$ рассчитана по независимой наиболее полной базе данных.

О характерных особенностях распределения температуры в слое 0-600 м в удаленных друг от друга пунктах измерений (Нижний Новгород, Красноярск, центр Москвы и Долгопрудный) можно судить по представленным на рисунке 3.2 вертикальным профилям средней годовой температуры (2004 - 2007 гг.). Для удобства сравнений стратификации температуры в разных городах рассчитаны профили отклонений средней годовой температуры $\Delta T_r(h)$ от индивидуальной приземной температуры в слое 0-600 м.

На рисунке 3.3 представлены профили $\Delta T_r(h)$ в четырех пунктах, рассчитанные для восьми сроков стандартных метеорологических

наблюдений: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч местного времени; на графики нанесены также кривые сухой и влажной адиабат.

Из-за значительных пропусков в рядах данных наблюдений в Долгопрудном в период 2007-2009 гг. статистически значимого результата о различиях средней годовой температуры в центре и на окраине московского мегаполиса получить не удалось; в таблице 3.2 приводятся результаты сравнения средней за год температуры $\Delta T_{г(h)}_{ц-п}$ в нижнем 300-метровом слое, полученные по синхронизированным измерениям в отдельные годы в период 2007-2009 гг.

Подтверждением репрезентативности данных измерений профилей температуры в центре Москвы прибором МТП-5, являются приведенные на рисунке 3.4 данные о величинах средней месячной температуры, полученные по наблюдениям на городских метеостанциях Балчуг, ВДНХ и по измерениям на уровне установления прибора МТП-5 (нулевой уровень) на крыше здания Гидрометцентра России. Как видно, различия между наземными наблюдениями и измерениями температуры прибором МТП-5 на нулевом уровне – незначительные (в пределах естественной пространственной изменчивости в мегаполисе. В среднем (2007-2009 гг.) температура на Пресне на 0.65 °С меньше, чем на метеостанции Балчуг и на 0.6 °С больше, чем на ВДНХ, что, в определенной мере отражая особенности приземной температуры в мегаполисе, подтверждает обоснованность присвоения данным измерений на крыше Гидрометцентра России как «центр города» и, одновременно, свидетельствуют о высокой надежности данных, полученных по измерениям МТП-5 на Красной Пресне. Единая методика восстановления температурного профиля, заложенная в систему наблюдений приборами МТП-5, обеспечивает высокую степень доверия и к имеющим статус экспериментальных измерениям в Долгопрудном.

На рисунке 3.5 представлен временной ход разности средней месячной приземной температуры «центр-периферия», полученной по наблюдениям на городских метеостанциях Балчуг ВДНХ в период 2007-2010 гг. Разность

средней месячной температуры между станциями находится в диапазоне 0.6 - 2.3°C, а в среднем за 4 года она составила 1.3°C. Изменчивость и величина разности в определенной степени могут служить характеристикой особенностей атмосферных процессов в отдельные временные интервалы с точки зрения условий формирования термической неоднородности в регионе. На рисунке 3.5 видно, что благоприятные условия для формирования значительных контрастов температуры в мегаполисе отмечались в августе 2007 и июле 2009 гг., в январе и августе 2010 г, а минимальные температурные контрасты в городе, соответственно, и различия между центром и ближними окрестностями - в январе и декабре 2009, в декабре 2008 гг.

Средняя за месяц температура и стандартное отклонение (CO) в центре города в слое измерений 0-600 м приводится в таблице 3.3, результаты получены по данным расчетов по независимой базе данных 2007-2009 гг.

Средняя месячная температура в пригороде не представляется из – за статистически недостаточной длины рядов данных в отдельные месяцы.

Таблица 3.4 представляет величины разности средней температуры $\Delta T_{\text{м}}(h)_{\text{ц-п}}$ на отдельных уровнях в месяцы с наибольшим количеством синхронизированных измерений в разнесенных пунктах; в таблице дается указание на год, данные которого использованы для расчетов. В таблице 3.5 представлены рассчитанные по всем имевшимся данным синхронизированных измерений в разнесенных пунктах в период 2007-2009 гг. разности средней температуры между центром и пригородом $\Delta T_{\text{м}}(h)_{\text{ц-п}}$ в слое 0-300 м.

Таблица 3.6 представляет величины средней за месяц температуры нижнего 300-метрового слоя и слоя 0-600 м в центре города, полученные осреднением значений средних часовых температуры на каждом уровне измерений, кратном 100 м в период 2007-2009 гг .

3.2 Средняя годовая температура в слое 0-600 м

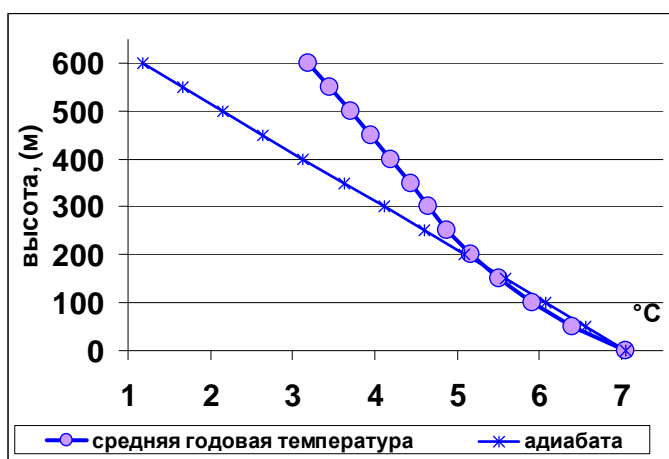


Рисунок 3.1 – Вертикальный профиль средней годовой температуры в центре Москвы.

Таблица 3.1 - Средняя годовая температура $T_r(h)$ °C на высотах в слое измерений в центре Москвы в отдельные годы

Высота (м)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
2007	8,0	7,2	6,7	6,3	5,9	5,6	5,4	5,1	4,9	4,6	4,4	4,1	3,8
2008	6,7	6,0	5,6	5,2	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	3,8	3,6	3,4	3,1
2009	6,5	5,9	5,4	5,0	4,6	4,3	4,1	3,9	3,6	3,4	3,2	2,9	2,6

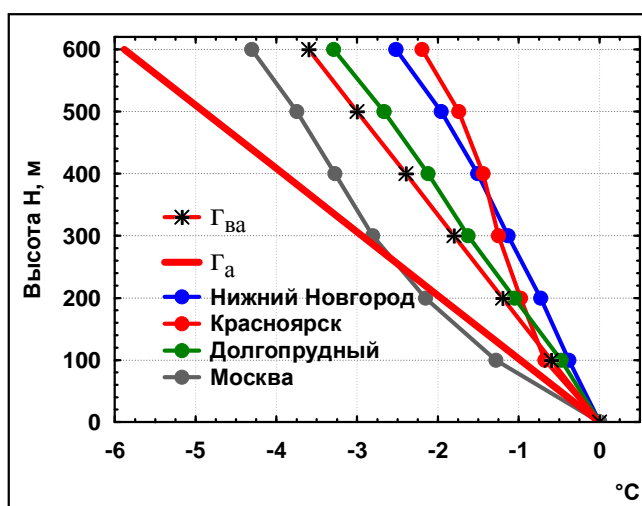


Рисунок 3.2 – Профили средней годовой температуры $\Delta T_r(h)$ (в отклонениях) в пунктах Нижний Новгород, Красноярск, центр Москвы и Долгопрудный

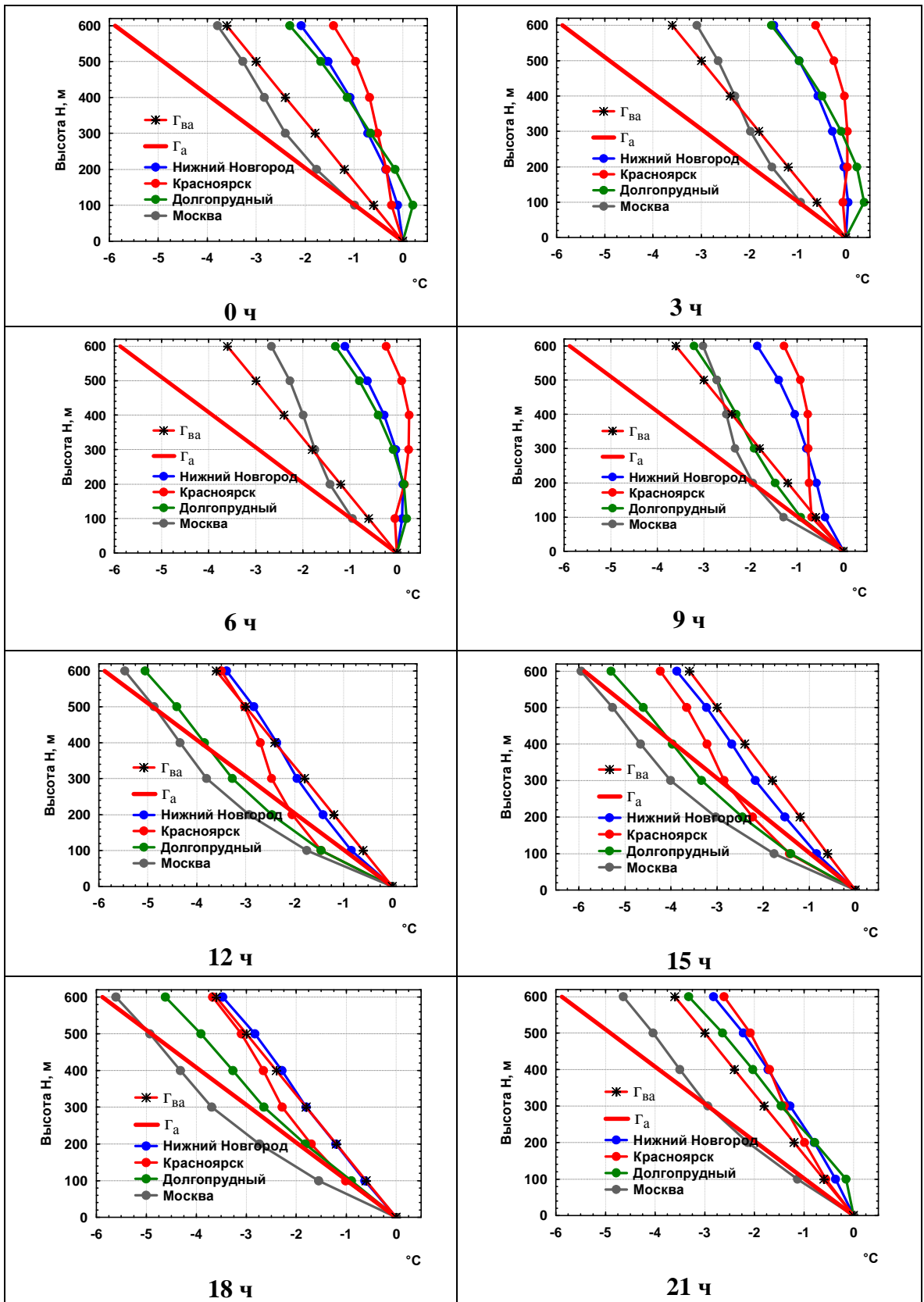


Рисунок 3.3 – Профили средней годовой температуры (в отклонениях) $\Delta T_r(h)$ в кратные 3 ч сроки в пунктах Нижний Новгород, Красноярск, центр Москвы и Долгопрудный (местное время)

Таблица 3.2 - Разность температуры $\Delta T_r(h)_{ц-п}$ (°C) между центром Москвы и ближним пригородом (г.Долгопрудный) в слое 0-300 м

год \ высота	высота			
	0 м	100 м	200 м	300 м
2007	1,2	0,3	0,1	0,0
2008	1,1	0,6	0,5	0,6
2009	1,1	0,6	0,4	0,4
среднее	1,1	0,5	0,3	0,3

3.3 Средняя за месяц приземная температура

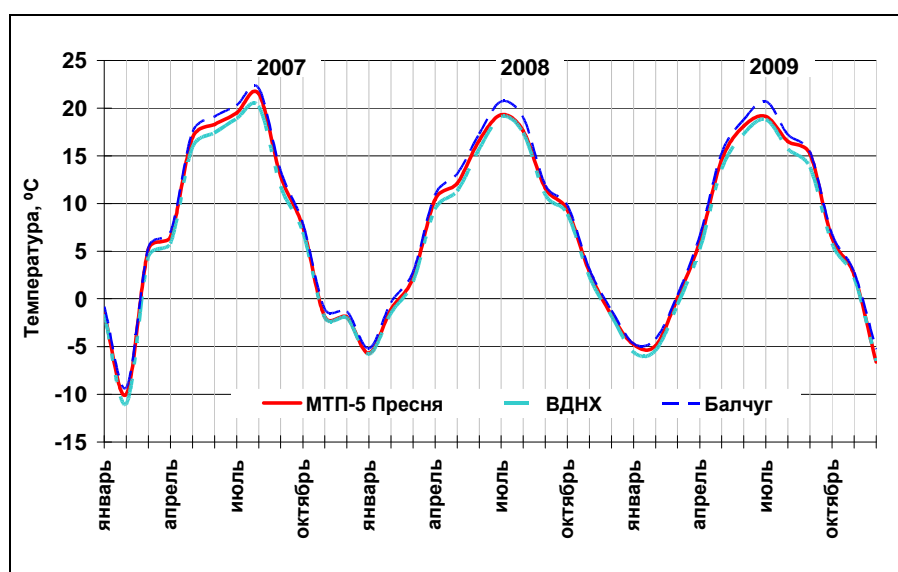


Рисунок 3.4 – Средняя месячная приземная температура на Красной Пресне, метеостанциях Балчуг и ВДНХ. 2007 - 2009 гг.

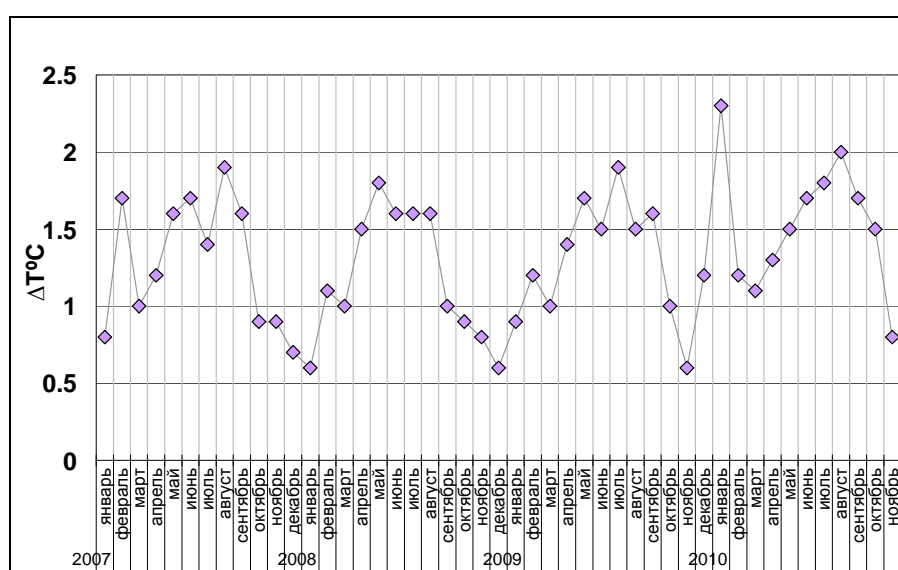


Рисунок 3.5 - Разность средней месячной приземной температуры между метеостанцией Балчуг и метеостанцией ВДНХ. 2007-2010 гг.

Таблица 3.3 - Средняя месячная температура $T_m(h)$ и стандартное отклонение (CO) в центре города

высота (м)	0		100		200		300		400		500		600	
	T_m	CO	T_m	CO	T_m	CO	T_m	CO	T_m	CO	T_m	CO	T_m	CO
январь	-4,1	5,7	-5,4	5,9	-6,0	5,7	-6,2	5,5	-6,3	5,1	-6,5	4,8	-6,8	4,7
февраль	-5,2	6,0	-6,7	6,3	-7,4	6,3	-7,7	6,2	-7,7	5,9	-7,9	5,5	-8,2	5,3
март	2,6	4,0	1,4	4,0	0,6	4,0	0,0	3,9	-0,6	3,9	-1,2	3,8	-1,8	3,8
апрель	7,6	5,6	6,4	5,6	5,6	5,7	4,8	5,7	4,1	5,7	3,5	5,8	2,9	5,8
май	14,6	6,4	13,5	6,4	12,7	6,4	12,1	6,5	11,5	6,6	10,9	6,5	10,2	6,4
июнь	17,4	4,4	16,1	4,3	15,2	4,3	14,4	4,3	13,8	4,3	13,1	4,3	12,4	4,2
июль	19,0	3,8	17,9	3,7	17,2	3,6	16,5	3,6	16,0	3,7	15,3	3,7	14,6	3,6
август	18,6	5,1	17,7	5,1	17,1	5,1	16,5	5,2	16,0	5,3	15,4	5,3	14,8	5,3
сентябрь	13,3	4,9	12,5	4,9	11,8	4,9	11,2	5,0	10,6	5,1	10,1	5,0	9,5	4,9
октябрь	7,8	4,1	6,8	4,2	6,1	4,3	5,7	4,3	5,1	4,4	4,6	4,4	4,2	4,4
ноябрь	1,1	3,8	-0,1	3,9	-0,9	4,0	-1,4	4,2	-1,8	4,1	-2,3	4,1	-2,8	4,1
декабрь	-3,2	6,3	-4,5	6,4	-5,3	6,3	-5,5	6,2	-5,6	5,9	-5,8	5,6	-6,2	5,5

3.4 Разность температуры в слое 0-600 м между центром и пригородом

Таблица 3.4 – Средние за месяц разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_m(h)_{ц-п}$ в отдельные годы

месяц	высота							
	год	0	100	200	300	400	500	600
январь	2007	1,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
февраль	2007	1,8	0,5	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
март	2007	1,0	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1
апрель	2009	0,8	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1
май	2008	1,2	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0
июнь	2007	1,1	0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
июль	2007	1,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2
август	2007	1,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2
сентябрь	2007	1,3	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7
октябрь	2007	0,7	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	0,1	0,3
ноябрь	2008	1,1	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
декабрь	2008	1,0	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9

Таблица 3.5 - Средняя за месяц разность температуры между центром и пригородом в нижнем 300-метровом слое . 2007-2009 гг.

высота (м) месяц	0	100	200	300
январь	1,06	0,46	0,28	0,30
февраль	1,37	0,43	0,12	0,07
март	1,00	0,31	0,16	0,22
апрель	1,00	0,47	0,46	0,68
май	0,98	0,38	0,27	0,39
июнь	1,39	0,70	0,38	0,26
июль	1,26	0,57	0,27	0,20
август	1,38	0,72	0,48	0,44
сентябрь	0,92	0,03	0,01	0,01
октябрь	0,90	0,37	0,20	0,19
ноябрь	0,92	0,54	0,38	0,40
декабрь	1,04	0,75	0,76	0,87
Средняя за год	1,10	0,48	0,31	0,34

3.5 Средняя температура слоя в центре города

Таблица 3.6 - Средняя за месяц температура нижнего 300-метрового и 600-метрового слоя, центр города.

слой	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ср.300 м	-5,5	-6,9	1,0	6,1	13,2	14,9	17,3	17,4	12,1	6,5	-0,3	-5,1
ср.600 м	-5,9	-7,4	0,0	4,9	12,2	13,7	16,3	16,5	11,2	5,7	-1,2	-5,6

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ В НИЖНЕМ 600–МЕТРОВОМ СЛОЕ В ЦЕНТРЕ И ПРИГОРОДЕ

4.1 Характеристики использованных материалов, пояснения к таблицам и рисункам

В разделе представляются результаты расчетов характеристик вертикального изменения температуры в нижнем 600-метровом слое в центре Москвы по независимым наблюдениям в 2007-2009 гг., а также результаты расчетов вертикальных градиентов в двух разнесенных пунктах – в центре и в пригороде - по синхронизированным измерениям в отдельные периоды 2004-2009 гг.

Расчеты среднего градиента температуры γ проведены путем осреднения за рассматриваемый период градиентов, по данным средней за час температуры, в сроки кратные 1 часу. Принято, вертикальный градиент температуры - это разность между температурой нижнего уровня измерения и температурой на рассматриваемой высоте h , приведенная к размерности $^{\circ}\text{C}/100$ м. Индекс показывает период осреднения: $\gamma_{\text{г}}$ и $\gamma_{\text{м}}$ - соответственно средний за год и средний за месяц вертикальный градиент температуры.

В таблице 4.1 приводятся средние за год $\gamma_{\text{г}}$ вертикальные градиенты температуры в слоях нарастающей толщины 0-100, 0-200, 0-300, 0-400, 0-400, 0- 500 и 0-600 м, рассчитанные по данным всех имеющихся измерений в центре города в отдельные годы периода 2007-2009 гг. и за 3 года в среднем.

Таблица 4.2 содержит результаты расчетов величины средних за месяц вертикальных градиентов температуры $\gamma_{\text{м}}$ и CO в центре города, полученные по полному ряду наблюдений 2007-2009 гг.

Поскольку статистически обеспеченных рядов данных измерений в пригороде в 2007-2009 гг. не было, в таблицах 4.3 – 4.12 представлены характеристики вертикальных градиентов температуры в слоях нарастающей толщины 0-100, 0-200, 0-300 и 0-600 м в пригороде и в центре города в отдельные месяцы разных лет, рассчитанные по синхронизированным

данным измерений, по которым можно судить о различиях термической структуры в центре большого города и в ближних окрестностях.

Повторяемость величин градиентов температуры в слое 0-100 м в центре города и в пригороде иллюстрируют рисунки 4.1 - 4.2; представленные результаты получены по расчетам синхронизированных наблюдений в целом за период 2007-2009 гг.

Характеристика распределения разности величин температурного градиента в слое 0-100 м центр- пригород представлена на рисунке 4.3; приведенные результаты получены по рядам синхронных измерений в период 2007-2009 гг.; они указывают на существенное влияние городской среды на термический режим пограничного слоя в мегаполисе.

Вертикальные градиенты нижнего 100-метрового (приземного) слоя имеют ярко выраженную сезонную и внутрисуточную изменчивость. Если в центре Москвы преобладают положительные градиенты, в пригороде они меняют знак с отрицательного (ночью) на положительный (днем). Рисунки 4.4 – 4.7 иллюстрируют суточный ход среднего градиента температуры в приземном слое и СКО в центре и в пригороде в срединные месяцы четырех сезонов, с одним исключением - зимнее распределение представлено данными в феврале из-за значительных аномалий погоды в январях рассматриваемого периода. Результаты получены по наиболее полным рядам синхронных измерений в разнесенных пунктах в период 2004-2007гг. Рисунок 4.8 приводится для удобства сравнений градиентов температуры в приземном слое в центре и пригороде, представленных на рис. 4.4 -4.7.

4.2 Средняя за год величина градиента температуры в слоях 0-100м, 0-200, 0-300, 0-400, 0-500 и 0-600 м

Таблица 4.1 - Средний годовой градиент γ_T ($^{\circ}\text{C}/100$ м) в центре города

слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-400	0-500	0-600
2007	1,22	1,01	0,87	0,77	0,72	0,69
2008	1,10	0,87	0,72	0,65	0,61	0,59
2009	1,12	0,95	0,81	0,72	0,68	0,65
средний	1,15	0,95	0,80	0,71	0,67	0,65

4.3 Средний месячный градиент температуры в слое 0-100, 0-200, 0-300, 0-400, 0-500 и 0-600 м

Таблица 4.2 - Средний за месяц градиент температуры γ_M ($^{\circ}\text{C}/100$ м) и стандартное отклонение (СО), $^{\circ}/100$ м. Центр города.

слой	0-100		0-200		0-300		0-400		0-500		0-600	
	γ_M	СО	γ_M	СО	γ_M	СО	γ_M	СО	γ_M	СО	γ_M	СО
январь	1,35	0,32	0,98	0,44	0,72	0,52	0,56	0,51	0,48	0,49	0,46	0,46
февраль	1,44	0,46	1,08	0,43	0,81	0,44	0,63	0,40	0,53	0,38	0,50	0,36
март	1,22	0,47	1,01	0,40	0,87	0,36	0,80	0,31	0,76	0,28	0,74	0,25
апрель	1,18	0,56	1,03	0,46	0,93	0,41	0,87	0,35	0,83	0,30	0,79	0,27
май	1,05	0,72	0,91	0,59	0,83	0,51	0,77	0,43	0,74	0,37	0,72	0,33
июнь	1,25	0,60	1,10	0,51	0,99	0,46	0,90	0,39	0,86	0,34	0,83	0,31
июль	1,08	0,55	0,93	0,48	0,84	0,43	0,77	0,36	0,74	0,32	0,74	0,29
август	0,88	0,65	0,77	0,58	0,69	0,51	0,65	0,44	0,64	0,38	0,65	0,34
сентябрь	0,84	0,58	0,76	0,53	0,71	0,48	0,67	0,41	0,65	0,36	0,63	0,32
октябрь	0,99	0,41	0,84	0,39	0,72	0,38	0,67	0,34	0,63	0,30	0,60	0,27
ноябрь	1,19	0,25	0,99	0,33	0,81	0,38	0,73	0,35	0,68	0,32	0,65	0,29
декабрь	1,32	0,38	1,02	0,38	0,76	0,38	0,61	0,36	0,53	0,34	0,49	0,32

4.4 Средний за месяц вертикальный градиент температуры в слое 0-100, 0-200, 0-300 и 0-600 м в центре и пригороде

Таблица 4.3 – Средний за месяц градиент температуры ($^{\circ}\text{C}/100$ м) в центре города и пригороде в ЯНВАРЕ (2007 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,4	1,2	1,0	0,8
пригород	0,7	0,7	0,7	0,6

Таблица 4.4 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в ФЕВРАЛЕ (2007 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,8	1,3	1,0	0,5
пригород	0,5	0,5	0,4	0,2

Таблица 4.5 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в МАРТЕ (2007 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,3	1,0	0,9	0,7
пригород	0,5	0,5	0,5	0,6

Таблица 4.6 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в АПРЕЛЕ (2009 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,1	0,9	0,8	0,8
пригород	0,6	0,7	0,8	0,8

Таблица 4.7 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в МАЕ (2008 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,1	1,0	0,9	0,7
пригород	0,5	0,6	0,7	0,7

Таблица 4.8 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в ИЮНЕ (2009 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,1	1,0	0,9	0,8
пригород	0,5	0,5	0,6	0,6

Таблица 4.9 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в ИЮЛЕ (2007 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,1	1,0	0,9	0,7
пригород	0,4	0,4	0,5	0,6

Таблица 4.10 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в АВГУСТЕ (2009 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,1	1,0	1,0	0,8
пригород	0,4	0,5	0,5	0,6

Таблица 4.11 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в ОКТЯБРЕ (2007 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	0,8	0,7	0,6	0,5
пригород	0,2	0,3	0,3	0,4

Таблица 4.12 – Средний за месяц градиент температуры (°C/100 м) в центре города и пригороде в НОЯБРЕ (2008 г)

Слой (м)	0-100	0-200	0-300	0-600
центр	1,1	0,8	0,6	0,5
пригород	0,7	0,6	0,5	0,5

4.5 Повторяемость градиентов температуры ($^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) в слое 0-100 м в центре и пригороде

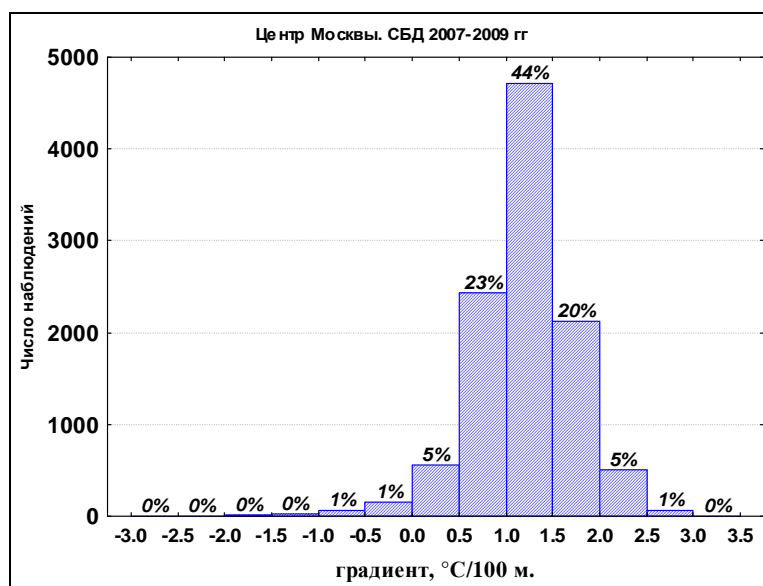


Рисунок 4.1 –Повторяемость величин вертикального градиента температуры γ (в градациях) в слое 0-100 м в центре города.

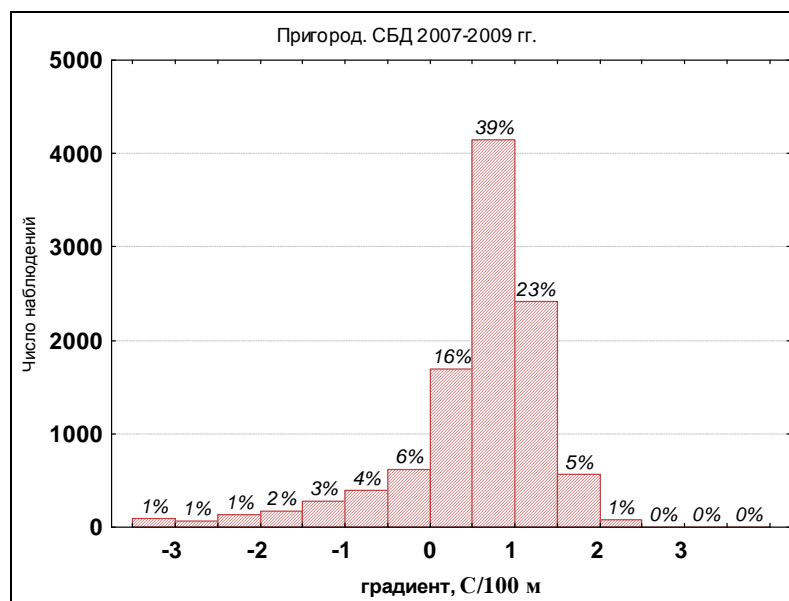


Рисунок 4.2 –Повторяемость величин вертикального градиента температуры γ (в градациях) в слое 0-100 м в пригороде.

4.6 Повторяемость разности градиентов температуры в слое 0-100 м в центре и пригороде

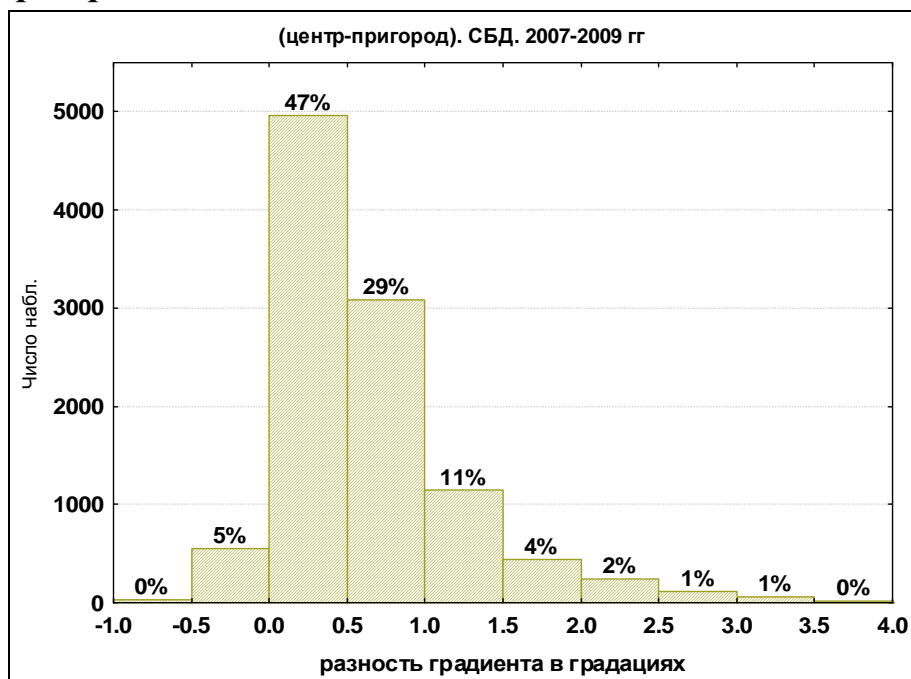


Рисунок 4.3 – Повторяемость величин разности градиента температуры $\Delta\gamma$ центр-пригород (в градациях).

4.7 Сезонные изменения вертикального градиента температуры в слое 0-100 м в центре и пригороде

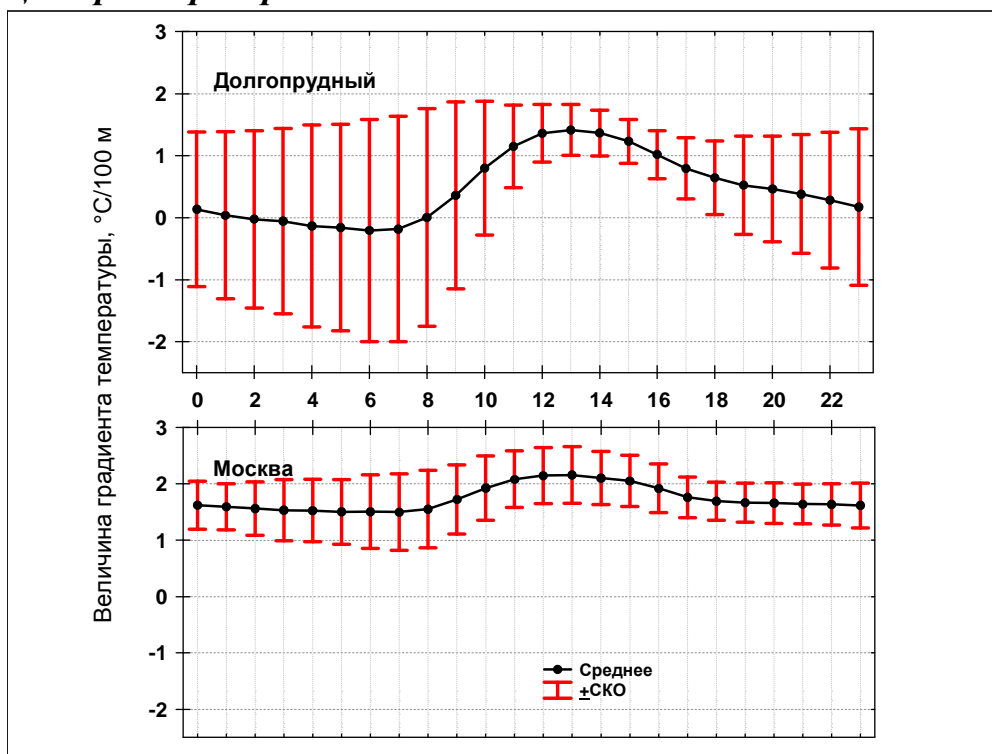


Рисунок 4.4 – Средний за месяц градиент температуры γ_m в приземном слое в центре (Москва) и пригороде (Долгопрудный). Зима.

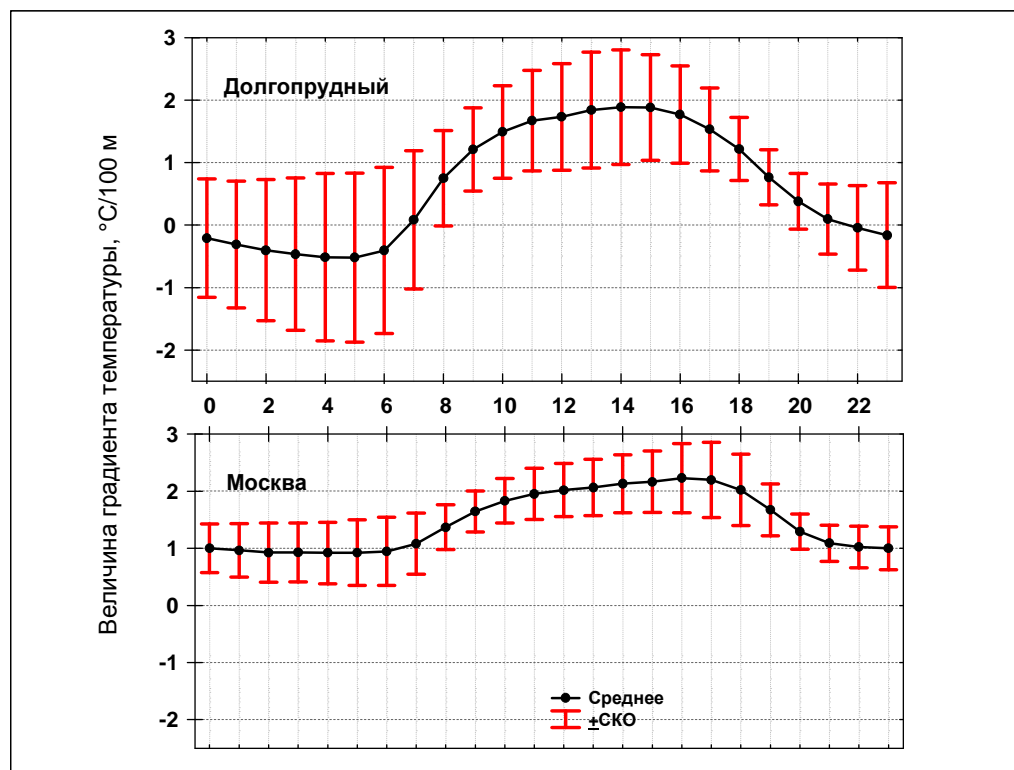


Рисунок 4.5 – Средний за месяц градиент температуры γ_m в приземном слое в центре (Москва) и пригороде (Долгопрудный). Весна.

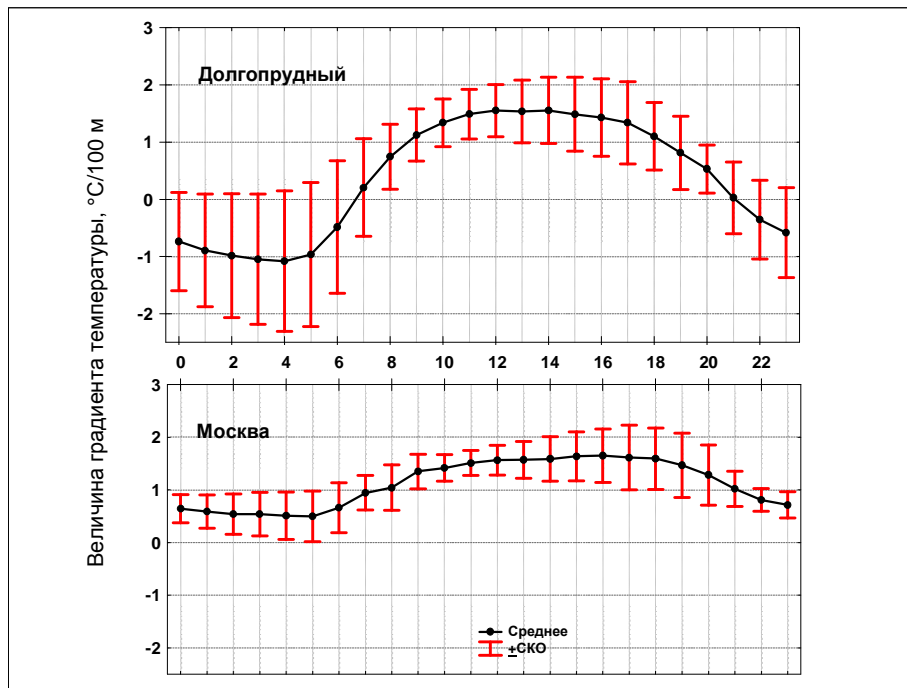


Рисунок 4.6 – Средний за месяц градиент температуры γ_m в приземном слое в центре (Москва) и пригороде (Долгопрудный). Лето.

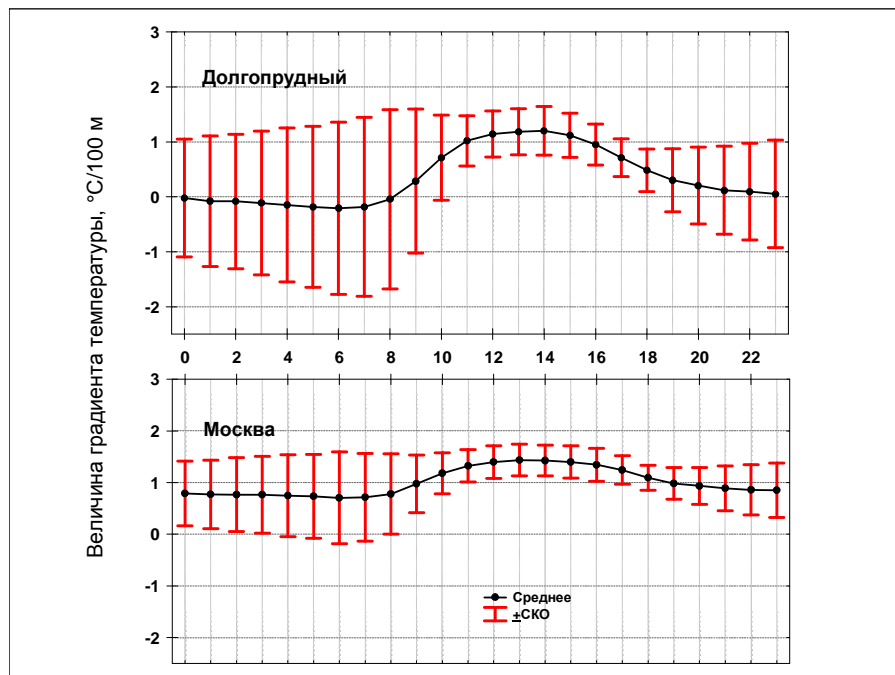


Рисунок 4.7.– Средний за месяц градиент температуры γ_m в приземном слое в центре (Москва) и пригороде (Долгопрудный). Осень.

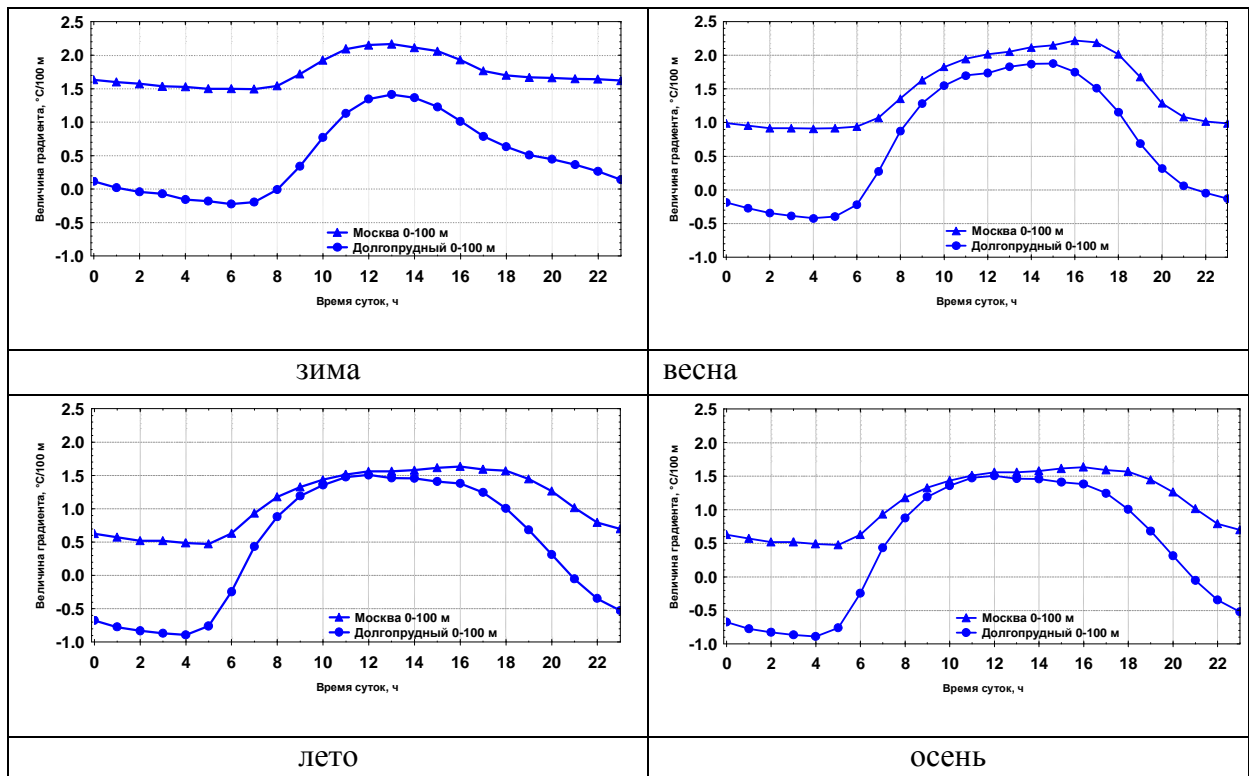


Рисунок 4.8 – Средний градиент температуры γ_m в слое 0-100 м в центре Москвы и в пригороде

5. СРЕДНИЙ СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ В СЛОЕ 0-600 М В ЦЕНТРЕ ГОРОДА И ПРИГОРОДЕ

5.1 Характеристики использованных материалов и пояснения к таблицам и рисункам

В разделе приводятся материалы о внутрисуточных изменениях некоторых термических характеристик, полученные по синхронизированным измерениям в разнесенных пунктах московского региона в отдельные периоды с 2004 по 2009 гг. Часть представленных результатов получена по выборке независимого ряда измерений в центре Москвы в течение трех практически полных лет 2007-2009 гг. Расчеты среднего суточного хода некоторых температурных характеристик проведены путем осреднения для каждого часа суток в рассматриваемый период.

На рисунке 5.1 представлен средний за год суточный ход температуры на высотах кратных 100 м в слое до 600 м в центре города, полученный осреднением данных за 3 года (2007-2009 гг.) по независимой базе данных.

На рисунке 5.2 – 5.5 иллюстрируются расчеты среднего суточного хода температуры в слое 0 - 600 м в центре города за каждый месяц года, полученные по данным измерений в центре Москвы в 2007-2009 гг.; рисунки сгруппированы по сезонам – зима, весна, лето и осень.

Внутрисуточные особенности влияния большого города на термический режим пограничного слоя в разные сезоны можно оценить по результатам расчетов среднего суточного хода по синхронизированным измерениям в разнесенных пунктах региона для временных интервалов со статистически обеспеченными рядами наблюдений в период 2007-2009 гг. Из-за значительных пропусков измерений МТП-5в пригороде, не удалось получить статистически достоверные средние месячные характеристики суточного хода температуры на высотах в этом пункте наблюдений. Для месяцев с достаточным рядом синхронных измерений в двух разнесенных

пунктах рассчитаны разности температуры в слое 0 – 600 м; внутрисуточные разности температуры на каждой из высот в срединные месяцы четырех сезонов год представлены в таблицах 5.1- 5.4. Аналогичные результаты, полученные по данным другого временного периода - 2004-2007 гг, представлены на рисунках 5.6 -5.9 для срединных месяцев четырех сезонов.

Средний за год внутрисуточный ход разности температуры между центром и пригородом в каждый час суток, рассчитанный по синхронизированным измерениям приборами МТП-5 в период 2007-2009 гг., представлен на рисунке 5.10.. С учетом погрешностей измерений и статистической обеспеченности рядов, многолетний ход разностей температуры в городе и пригороде представляется в слое до 300 м.

5.2 Средний годовой суточный ход температуры в слое 0-600 м в центре города

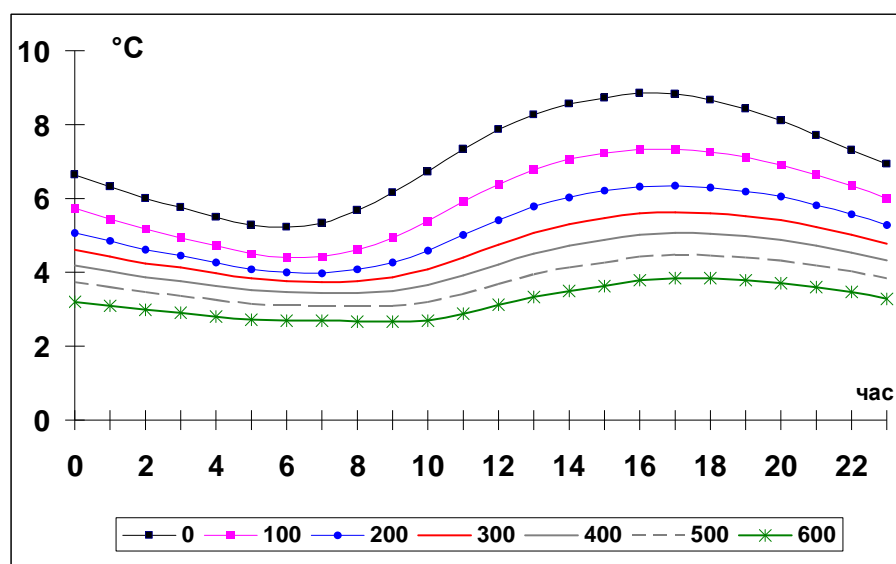


Рисунок 5.1-Средний многолетний суточный ход температуры T(h) на высотах 0, 100, 200, 300, 400, 500 и 600 м. Центр города.

5.3 Средний месячный суточный ход температуры в слое 0-600 м в центре города

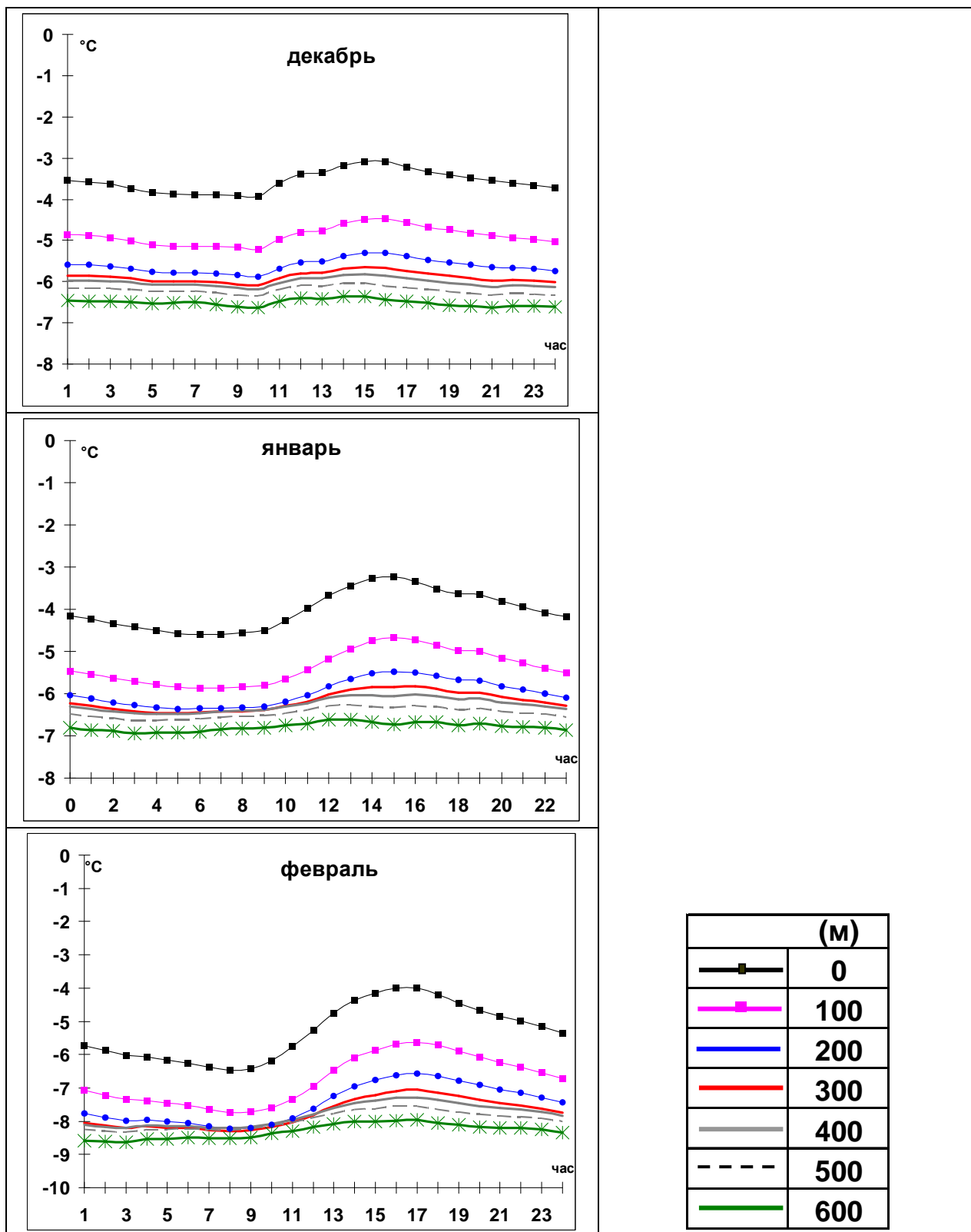


Рисунок 5.2 - Средний за месяц суточный ход температуры $T_m(h)$ в центре города. Зима.

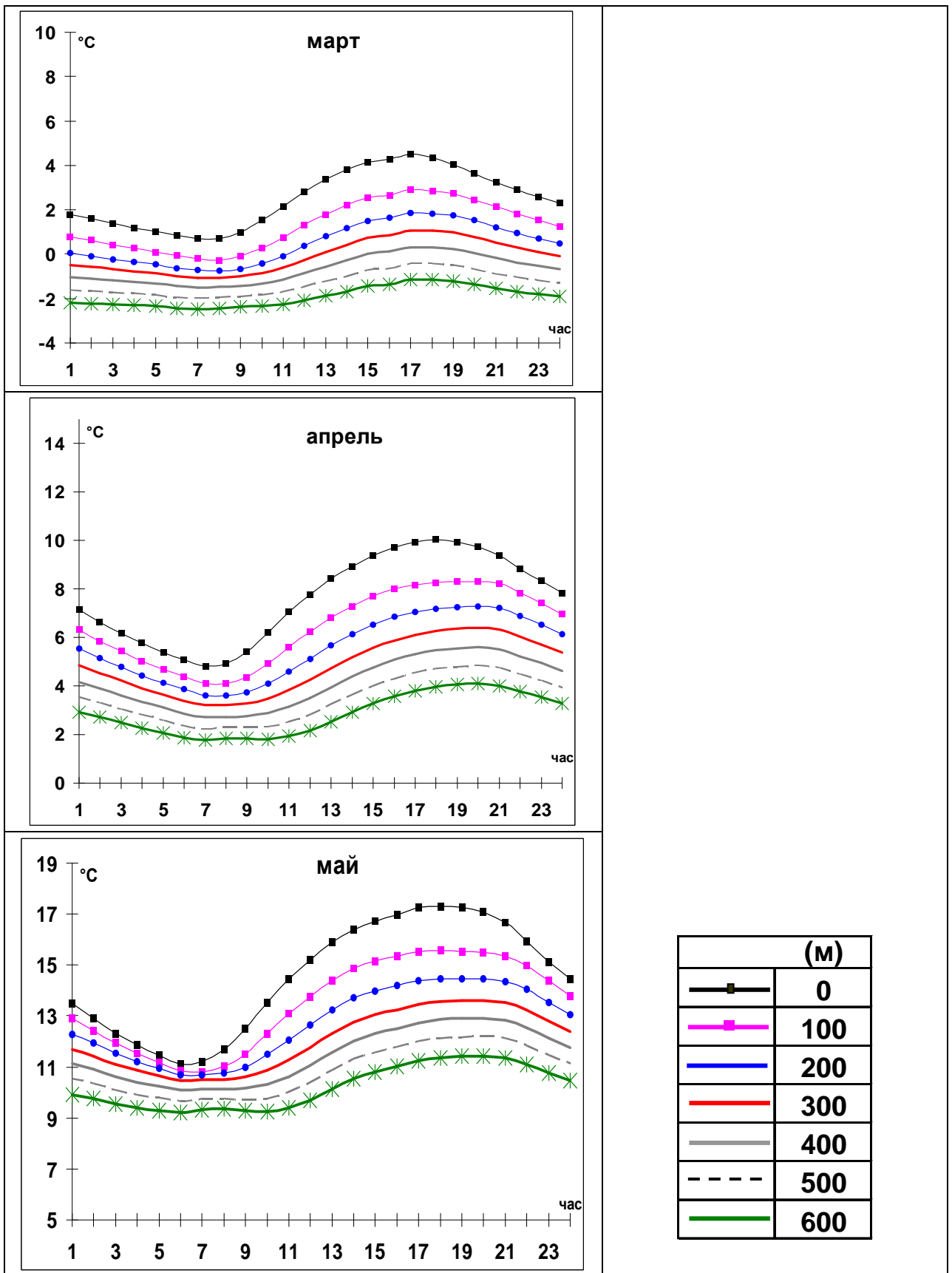
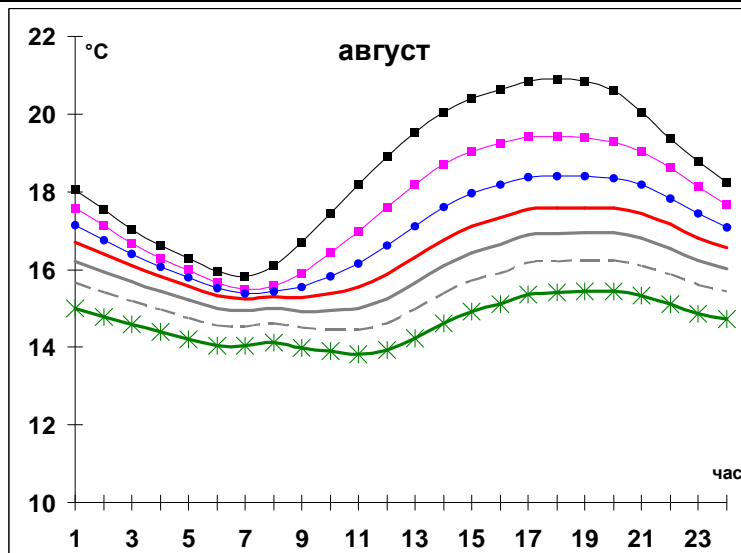
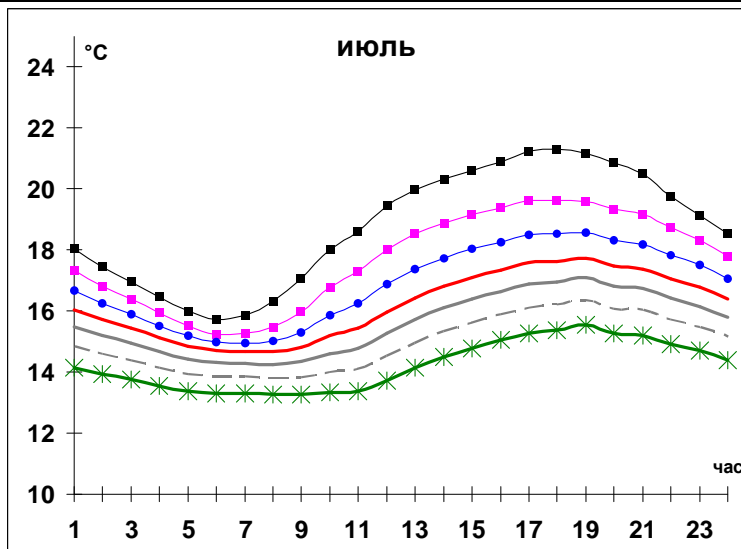
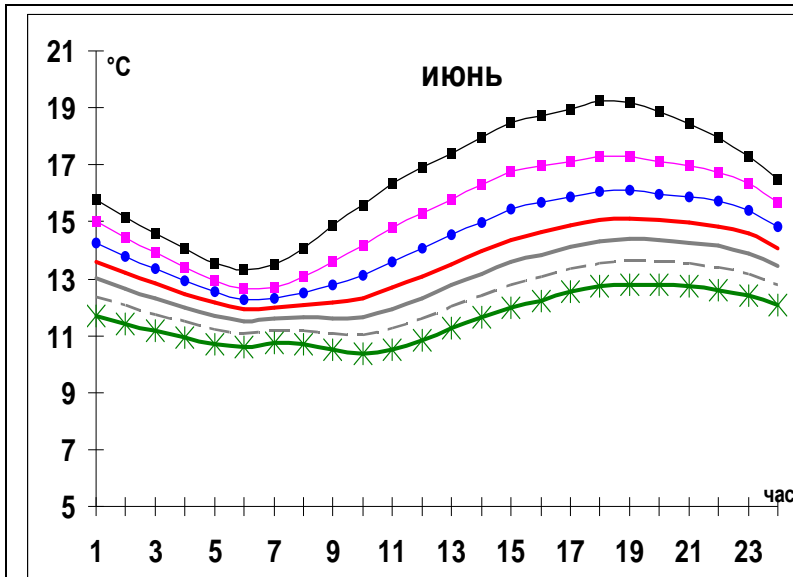


Рисунок 5.3 - Средний за месяц суточный ход температуры $T_m(h)$ в центре города. Весна



	(м)
—■—	0
—■—	100
—●—	200
—■—	300
—■—	400
- - -	500
—*—	600

Рисунок 5.4- Средний за месяц суточный ход температуры $T_m(h)$ в центре города. Лето

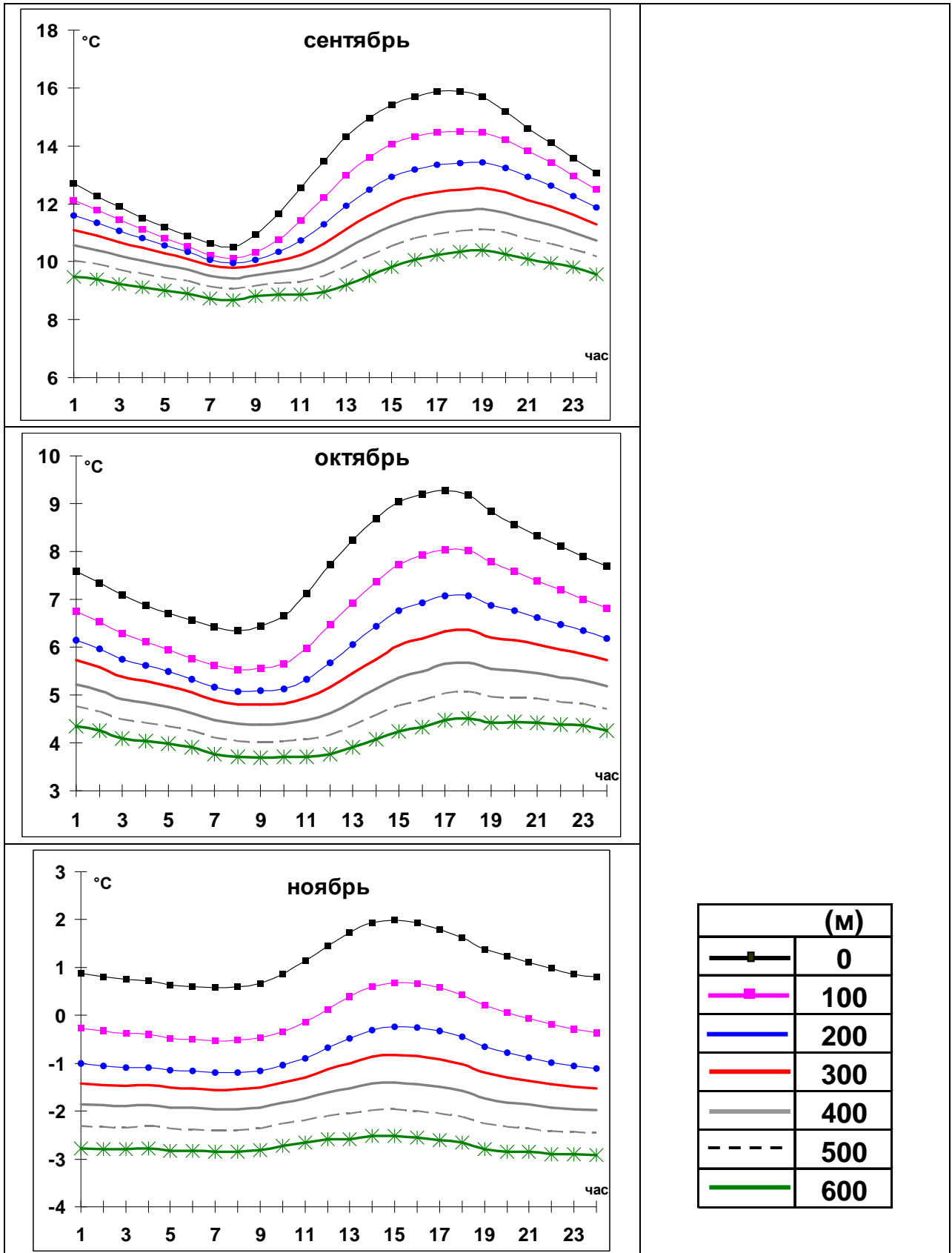


Рисунок 5.5 - Средний за месяц суточный ход температуры $T_m(h)$ в центре города. Осень

5.4 Внутрисуточные разности температуры между центром и пригородом в отдельные годы

Таблица 5.1. Суточный ход средней за месяц разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_m(h)_{Ц-П}$ на высотах 0, 100, 200, 300, 400, 500 и 600 м. Январь (2007 г.)

Н(м)	час																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1
100	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4
200	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
300	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
400	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
500	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
600	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2

Таблица 5.2. Суточный ход средней за месяц разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_{\text{м}}(h)_{\text{Ц-П}}$ на высотах 0, 100, 200, 300, 400, 500 и 600 м. Апрель (2009 г.)

Н(м)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,6	1	0,5	0,2	0	-0	-0	-0	-0	-0	0,1	0,6	1	1,2	1,3	1,4
100	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,7	0,4	0,2	0,1	0	-0	-0	-0	-0	-0	0,3	0,7	0,7	0,7	0,6
200	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	-0	-0	-0	0	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5
300	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,4	0,9	1,1	1	0,9	0,8
400	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	1,1	1,3	1,1	1	0,9
500	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8	1,3	1,5	1,3	1,2	1,1
600	1,2	1,1	1	1	0,9	0,9	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1	1	1	0,9	0,9	0,8	1	1,5	1,6	1,4	1,3	1,3

Таблица 5.3. Суточный ход средней за месяц разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_{\text{м}}(h)_{\text{Ц-П}}$ на высотах 0, 100, 200, 300, 400, 500 и 600 м. ИЮЛЬ (2007 г.)

Н(м)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	1,8	1,7	1,8	1,9	1,9	1,9	1,5	1,1	1	0,7	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,8	0,4	0,4	0,6	0,8	1,2	1,4	1,6
100	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,1	-0	0,2	-0	-0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6
200	0,1	0	0	-0	-0	0	0,1	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,1	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0	0,1	0,2	0,2
300	0,0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0	-0	0,2	0,1
400	0,0	0	-0	-0	-0	-0	0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0,1	-0	0,2	0,1
500	0,1	0,1	0	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0,1	0	0,2	0,2
600	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0	-0	-0	0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3

Таблица 5.4. Суточный ход средней за месяц разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_{\text{м}}(h)_{\text{Ц-П}}$ на высотах 0, 100, 200, 300, 400, 500 и 600 м. ОКТЯБРЬ (2007 г.)

Н(м)	час																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	441	0,9	0,9	1	1	1	1	1,1	1,1	0,9	0,8	0,9	0,4	0,2	0,2	0,3	0,6	0,8	0,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1
100	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,1	-0	-0	0	0,3	0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,4
200	0	0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0	0,2	0,4	-0	-0	-0	-0	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2
300	0	0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	0,1	0,3	-0	-0	-0	-0	0,2	0,2	0,3	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2
400	0,1	0,1	-0	0	0	-0	-0	-0	-0	-0	0,1	0,3	-0	-0	-0	-0	0,2	0,2	0,3	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2
500	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	-0	-0	-0	0	0,1	0,2	-0	-0	-0	-0	0,2	0,1	0,2	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3
600	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	-0	-0	0,1	0,1	0,1	0,2	-0	-0	-0	0	0,2	0,1	0,2	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3

5.5 Суточный ход разности средней за месяц температуры между центром и пригородом на высотах 0, 100, 200 и 300 м

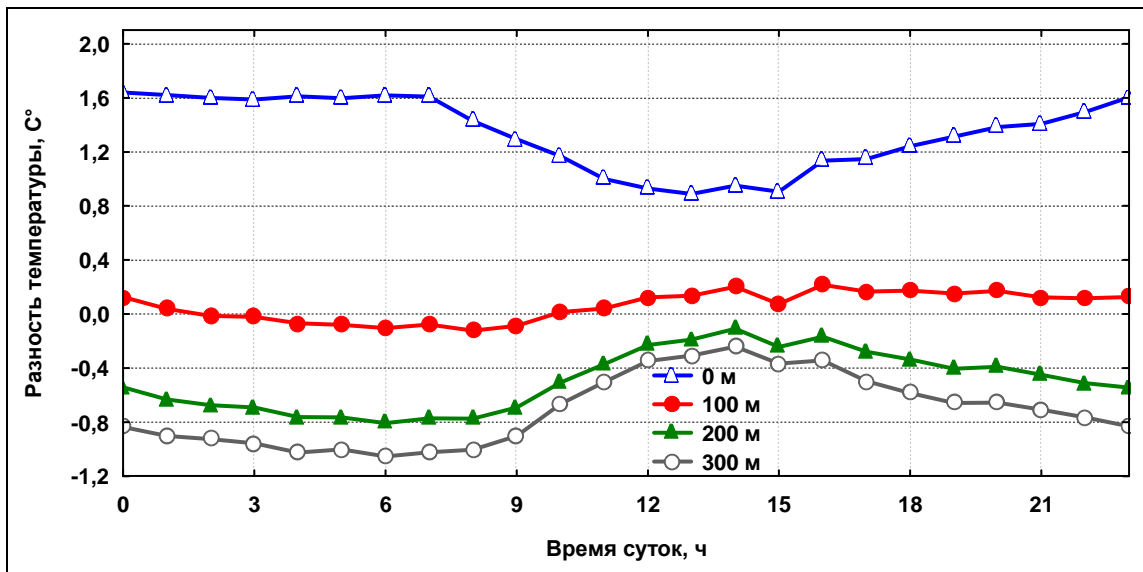


Рисунок 5.6 – Средний за месяц суточный ход разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_m(h)_{Ц-П}$ в слое 0-300 м. Февраль.

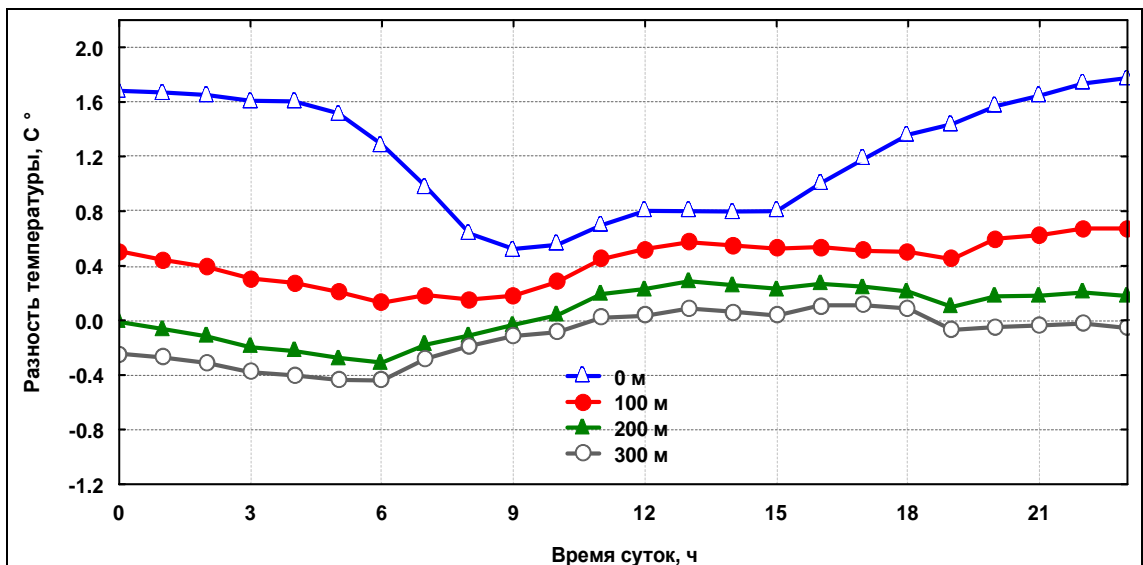


Рисунок 5.7 – Средний за месяц суточный ход разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_m(h)_{Ц-П}$ в слое 0-300 м. Апрель



Рисунок 5.8 – Средний за месяц суточный ход разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_m(h)_{Ц-П}$ в слое 0-300 м. Июль.

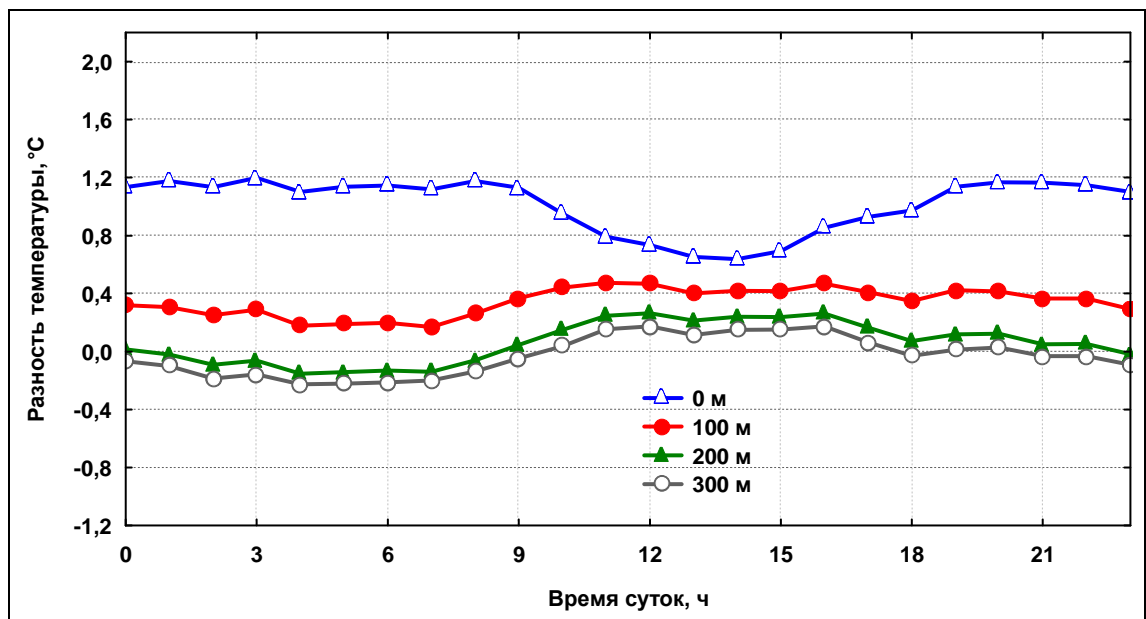


Рисунок 5.9 – Средний за месяц суточный ход разности температуры между центром и пригородом $\Delta T_m(h)_{Ц-П}$ в слое 0-300 м. Октябрь.

5.6 Средняя годовая разность температуры между центром и пригородом

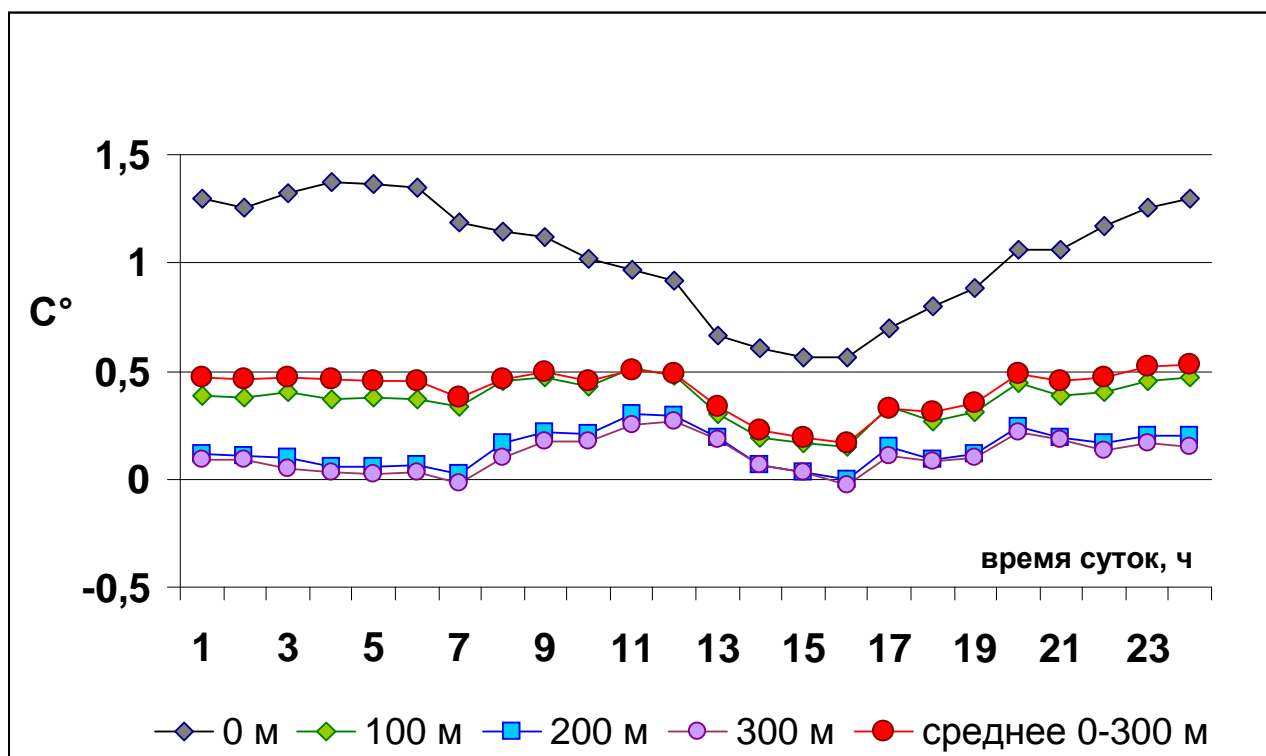


Рисунок 5.10 – Средняя годовая разность температуры между центром и пригородом $\Delta T_r(h)_{Ц-П}$ в слое 0-300 м. 2007-2009 гг.

6. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ МТП-5

Часть материалов этого раздела, основанного на сравнении характеристик в двух пунктах московского региона, представляется по данным 2007 г – по наиболее полным синхронизированным рядам измерений. Для иллюстраций явлений или отдельных характеристик использованы данные более поздних годов.

В разделе приводятся некоторые характеристики температурных инверсий, полученные по данным измерений профилей температуры приборами МТП-5 (600-метровые) в 2009-2010 гг. в трех пунктах, расположенных в различных географических зонах: Красноярск, Оренбург и Астрахань. Представлена повторяемость приземных и приподнятых инверсий в срединные месяцы четырех сезонов в каждом городе, а также повторяемость величины инверсии, фиксируемой приборами МТП-5 в нижнем 600-метровом слое, при максимальном ее развитии в тех же трех разнесенных пунктах.

6.1 Экстремальные величины разности температуры центр-пригород

Как следует из рисунка 6.1 центр Москвы теплее, чем северный пригород на 1°C и более градусов почти в 60% случаев, более чем на 2 °С – почти в 15 % , а в центре Москвы может оказаться холоднее чем в пригороде более чем на 1°C не чаще 1 %.

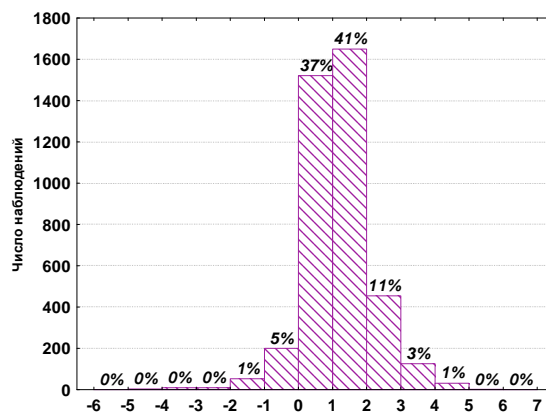


Рисунок 6.1 - Распределение величины разности часовой температуры T(0) центр-пригород (в градусах). 2007 г.

Наибольшие величины различий приземной температуры центр-пригород в 2007 г. приводятся в таблице 6.1 и 6.2. Можно заметить, что все экстремальные случаи отрицательной разности приземной температуры центр-пригород наблюдались днем – в послеполуденное время, а случаи положительной разности – в основном ночью или ранним утром.

Таблица 6.1- Случаи с наибольшими величинами отрицательной разности приземной температуры центр- пригород в 2007 г.

	Дата	ΔT °C
1	23.07.07 17:30	-4,58
2	01.10.07 14:30	-4,24
3	01.10.07 15:30	-4,53
4	01.10.07 16:30	-4,31

Иллюстрация синоптической ситуации и суточного хода температуры в нижнем 600-метровом слое по измерениям МТП-5 для случая, когда в центре Москвы оказалось почти на 5 градусов холоднее (табл. 6.1) приводятся на рисунке 6.2.. Такая ситуация сложилась из-за более значительной облачности в Москве, когда над центром мегаполиса шел дождь

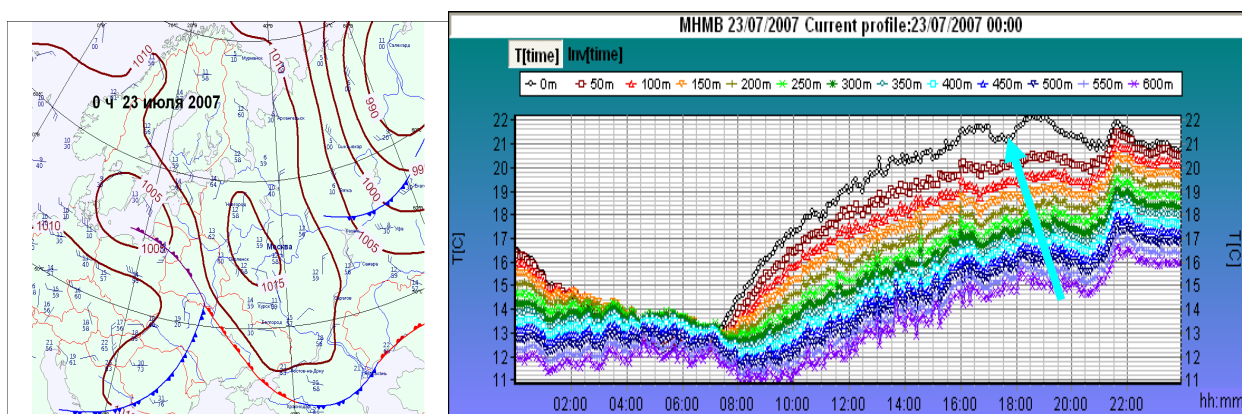


Рисунок 6.2 - Синоптическая ситуация (восточная малоградиентная периферия антициклона) и временной ход температуры в АПС по данным МТП-5 23 июля 2007 г. Стрелкой указано время наибольшей разницы температуры между центром и пригородом

В таблице 6.2 приводятся сведения о событиях, когда в центре Москвы было теплее не менее чем на 4.5 , чем на северной окраине мегаполиса. Эти данные сгруппированы за счет трех типов ситуаций: а) ночные контрасты температуры, б) различия в облачности и осадках в) прохождение атмосферного фронта. Последний тип иллюстрируется рисунками 6.3 и 6.4.

Таблица 6.2- Случаи с наибольшими величинами положительной разности приземной температуры центр- пригород в 2007 г.

	Дата	ΔT °C
1	02.02.07 3:30	4,7
2	08.02.07 8:30	4,7
3	09.02.07 0:30	4,9
4	26.02.07 1:30	4,6
5	16.06.07 22:30	4,6
6	16.06.07 23:30	4,9
7	02.07.07 16:30	4,7
8	22.08.07 5:30	5,5

Рисунок 6.3 показывает, что время наибольшей разности температуры центр -северный пригород совпал с прохождением теплого атмосферного фронта, в зоне которого наблюдались значительные пульсации температуры на верхних уровнях измерений МТП-5 и сгущение термограмм как результат процессов перемешивания в зоне фронта (овал на рисунке справа).

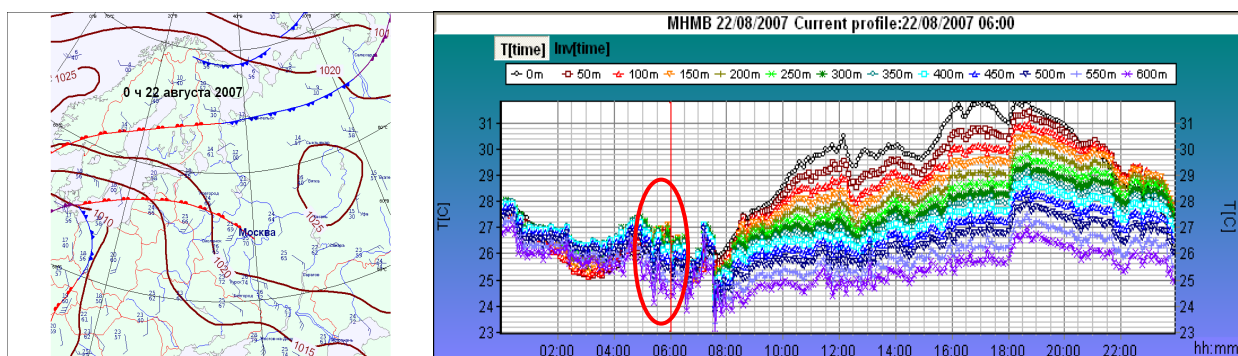


Рисунок 6.3 Синоптическая ситуация: западная периферия антициклона, зона теплого фронта (слева) и временной ход температуры в слое 0-600 м по данным МТП-5 в центре Москвы (справа). 22 августа 2007 г.

Из всех рассмотренных случаев наибольшей разность температуры центр – пригород (6.1°C) была 11 июня **2009**: около 23 ч при прохождении холодного фронта (красная стрелка на рисунке 6.4). Этим примером иллюстрируется эффект тепловой инерции городского ландшафта.

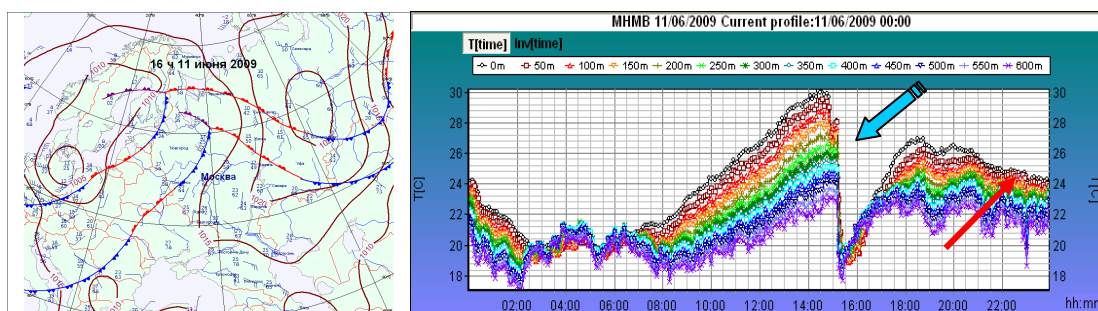


Рисунок 6.4 Временной ход температуры в слое 0-600 м по измерениям МТП-5 (справа), синоптическая ситуация (слева): теплый сектор на периферии антициклона, в 15-16 ч – зона атмосферного фронта (жирная синяя стрелка). 11 июня 2009 г.

Значительная часть положительных разностей температуры $T(0)$ центр-пригород наблюдалась в малоградиентном барическом поле в ранние утренние часы, когда в пригороде еще сохранялась радиационная инверсия температуры, а в центре ее не было (например, 5.3°C в 08 ч 15 апреля 2009).

Учитывая, что внутри Москвы (по наблюдениям на метеостанциях) контрасты приземной температуры могут достигать $10-12^{\circ}\text{C}$ (зимой в антициклоне при слабом ветре), на основании полученных данных можно сделать вывод, что а) г. Долгопрудный находится в тепловом шлейфе г.Москвы, б) место установки прибора МТП-5 достаточно репрезентативно для пригородной зоны, в) внутригородские контрасты температуры, обусловленные специфическими ландшафтными свойствами, могут превышать разность между центром и находящимися в зоне теплового влияния мегаполиса ближайших пригородов.

6.2 Экстремальные величины вертикального градиента температуры в слое 0-100 м

На рисунке 6.5 представлено распределение величин вертикального градиента температуры в слое 0-100 м, которые показывают, что градиенты больше 2°C/100 м в центре наблюдались в 11%, за городом – в 1%. Повторяемость приземных инверсий в центре – около 3%, в пригороде 19%, т.е. на окраинах мегаполиса термическая устойчивость наблюдается в 6 раз чаще.

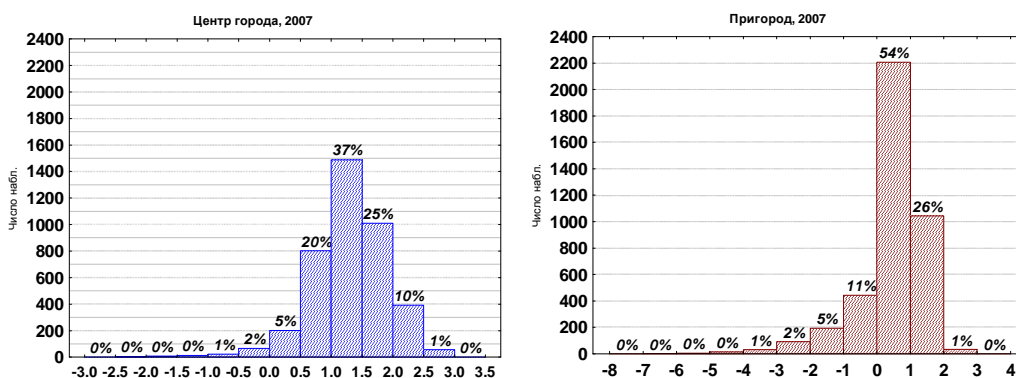


Рисунок 6.5 - Распределение вертикального градиента температуры в градациях в слое 0-100 м (°/100) в центре (слева) и пригороде (справа). 2007 г.

6.3 Усиление термической устойчивости АПС при задымлении воздуха продуктами лесных пожаров

На рисунке 6.5 хорошо различимо изменение термического состояния пограничного слоя под влиянием процессов поглощения солнечной радиации в сильно загрязненном продуктами лесных пожаров воздухе [12,17,18]. Слева показана типичная радиационная инверсия на восходе солнца, сформированная при слабом ветре в отсутствии струйного течения нижнего уровня; справа температурная инверсия в день максимального задымления московского региона. Типичная радиационная инверсия чаще всего охватывает нижний 200-300 м слой [15-16,19]., а толщина слоя инверсии в

загрязненном воздухе достигала в период экстремального задымления 500-550 м.

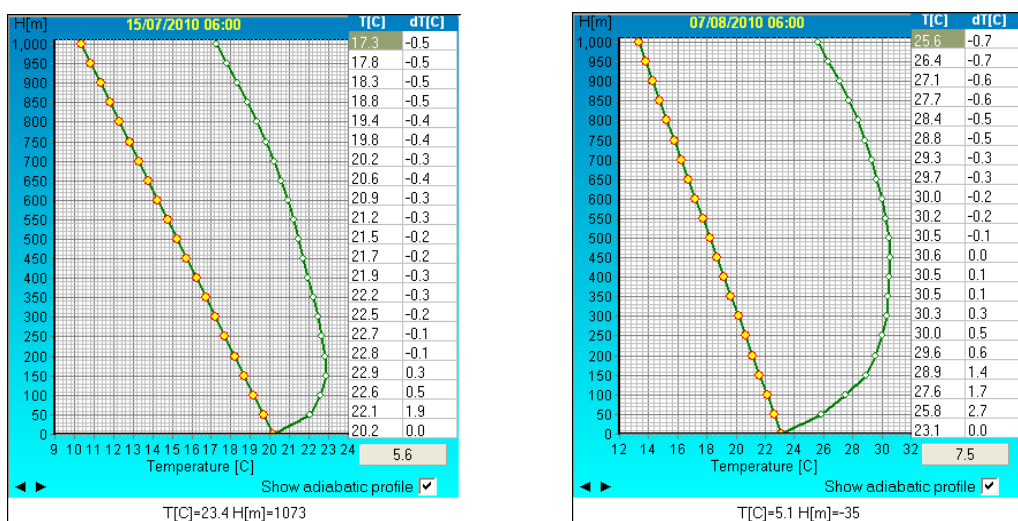


Рисунок 6.6 – Профили температуры в 6:00 в слое 0-1000 м в Долгопрудном до пожаров 15 июля (слева) и при сильном задымлении 7 августа (справа). 2010 г.

На рисунке 6.7 показаны **дневные** вертикальные профили в центре и пригороде в один из самых задымленных дней лета 2010 г – 6 августа [17]. Различия стратификации в центре и в пригороде указывают на значимое влияние городских источников тепла на термическую структуру в мегаполисе.

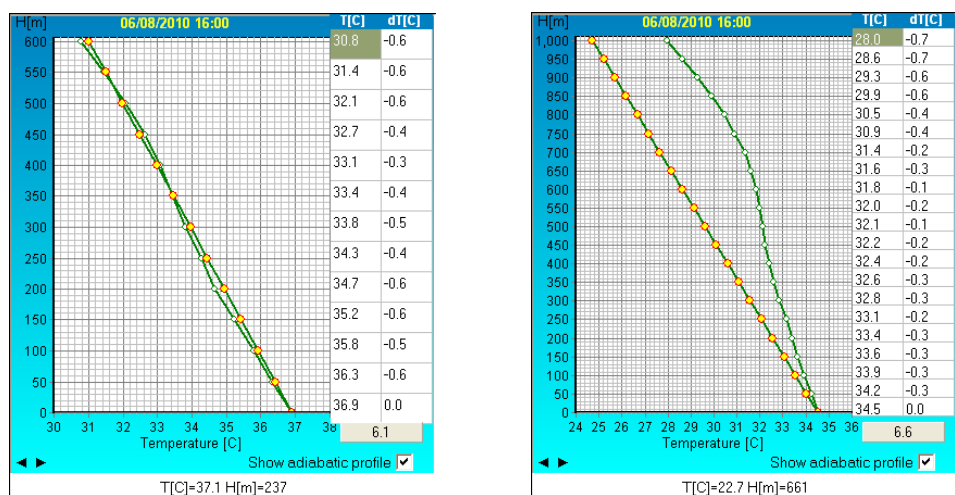


Рисунок 6.7 – Профили температуры в слое 0-1000 м в Долгопрудном в 16:00 6 августа 2010 г. в центре Москвы (слева) и в пригороде (справа)

6.4 Особенности термической структуры АПС в условиях аэрозольного загрязнения.

Загрязнение воздуха влияет на радиационные процессы в нижних слоях атмосферы, которые находят отражение в измерениях МТП-5. Наиболее яркие эффекты фиксируются в изменениях температуры в ранние утренние часы и обнаруживаются в виде образования «утреннего горба нагрева» в термограммах МТП-5, отражающего процесс нагрева приподнятого над землей наиболее загрязненного слоя атмосферы вследствие поглощения радиации аэрозолем. Рисунок 6.8 представляет иллюстрации таких явлений в инструментально зафиксированном эпизоде адвекции мелкодисперсного аэрозоля в Московский регион из района почвенной засухи в низовьях Волги.

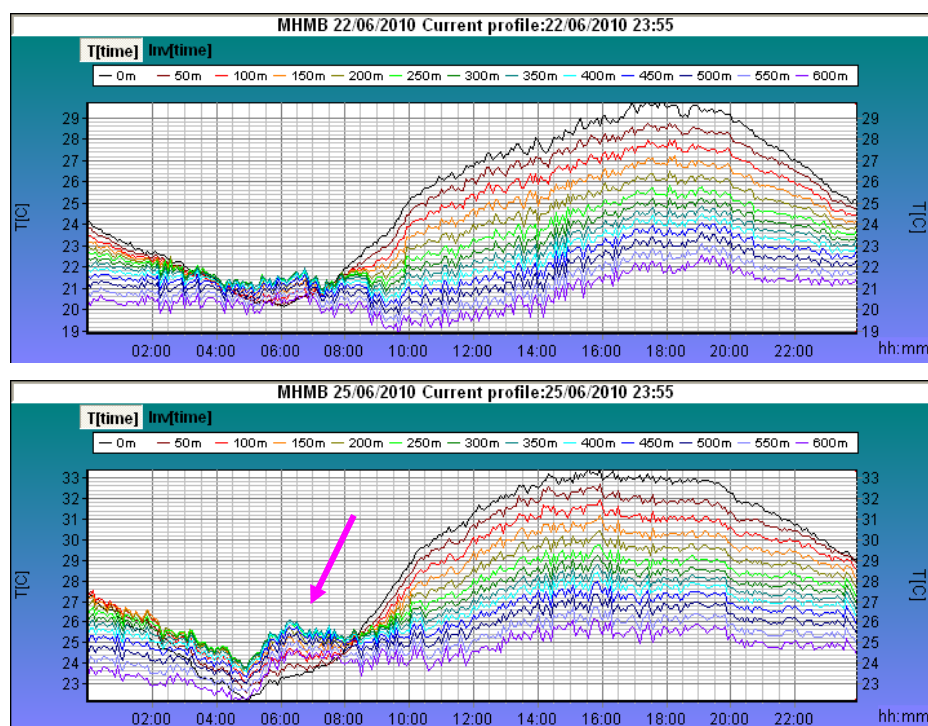


Рисунок 6.8 -Типовой ход температуры в слое 0-600 м в антициклоне при низком уровне загрязнения (вверху) и «утренний горб» нагрева приподнятого слоя (250 - 550 м) при высоком аэрозольном загрязнении (внизу), обусловленном дальним переносом почвенного аэрозоля [11].

При НМУ, когда в утренние часы при слабом ветре в нижних слоях накапливаются газовые и аэрозольные загрязнения, как результат поглощения примесями радиации в данных МТП-5 также обнаруживается аномальный ход температуры – «утренний горб нагрева», который может служить индикатором степени загрязнения воздушного бассейна в отсутствии высотных измерений концентраций загрязняющих веществ.

6.5 Изменение термической структуры АПС при перемещении атмосферного фронта

Наиболее резкая перестройка термической структуры АПС происходит при перемещении фронтальных разделов между воздушными массами с различающей температурой и влажностью. На рисунке 6.9 дается пример перехода из теплого сектора циклона в тыловую его часть; видно как резко меняется термическая структура в зоне холодного фронта, после его прохождения «городское» тепло, подогревая самые нижние слои, примерно в течение часа «маскирует» начавшуюся адвекцию холода, которая отчетливо видна в приподнятом над землей слое 300-600 м.

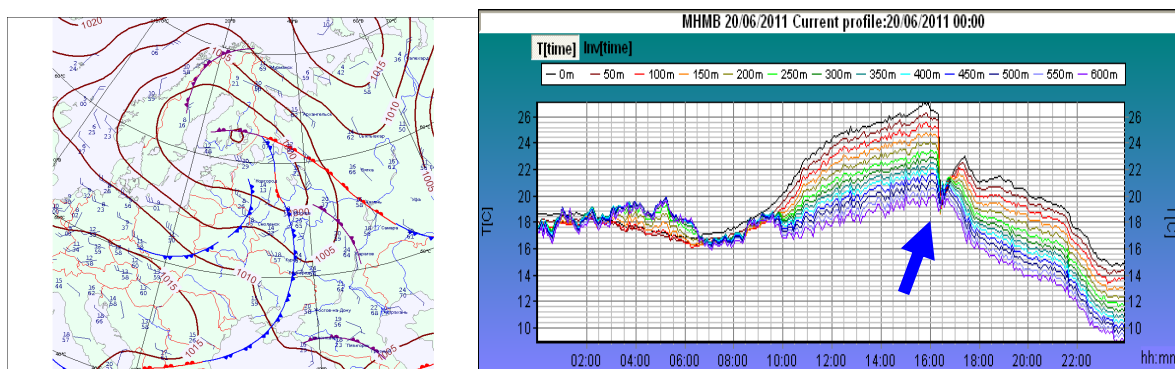


Рисунок 6.9 - Пример резкого понижения температуры (на 10 градусов за 8 ч) в нижнем 600-метровом слое при прохождении холодного атмосферного фронта (синяя стрелка) 20 июня 2011 г. Слева - карта погоды в 12 ч (BCB) 20 июня 2011 г.

6.6 Характеристики температурных инверсий по измерениям МТП-5 в Красноярске, Оренбурге и Астрахани

Ссылки на некоторые характерные особенности термического режима АПС в крупных городах России (Нижний Новгород, Красноярск, центр Москвы и Долгопрудный) можно получить в разделе 3.2. Здесь приводится часть результатов обработки данных измерений приборами МТП-5 в городах Красноярск, Оренбург и Астрахань в период 2009-2010 гг. – характеристики температурных инверсий, представляющих интерес с точки зрения мониторинга условий рассеивания загрязняющих веществ.

6.6.1 Повторяемость (%) приземной и приподнятой инверсии температуры в Красноярске, Оренбурге и Астрахани

ПУНКТ	приземная инверсия			приподнятая инверсия		
	2009	2010	среднее	2009	2010	среднее
	ЯНВАРЬ					
Красноярск	0.09	0.05	0.07	0.37	0.70	0.53
Оренбург	0.55	0.48	0.52	0.26	0.45	0.36
Астрахань	0.03	0	0.02	0.72	0.68	0.70
АПРЕЛЬ						
Красноярск	0.08	0.02	0.05	0.09	0.06	0.08
Оренбург	0.19	0.22	0.20	0	0.04	0.02
Астрахань	0.37	0.28	0.32	0	0	0
ИЮЛЬ						
Красноярск	0.01	0	0.01	0.13	0.14	0.14
Оренбург	0.28	0.26	0.27	0	0.02	0.01
Астрахань	0.42	0.42	0.42	0	0	0
ОКТАБРЬ						
Красноярск	0.08	0.03	0.05	0.13	0.06	0.10
Оренбург	0.46	0.45	0.45	0.01	0.01	0.01
Астрахань	0.50	0.27*	0.50	0.05	0.01*	0.05

6.6.2 Характеристики величины температурной инверсии при максимальном ее развитии в Красноярске, Оренбурге и Астрахани

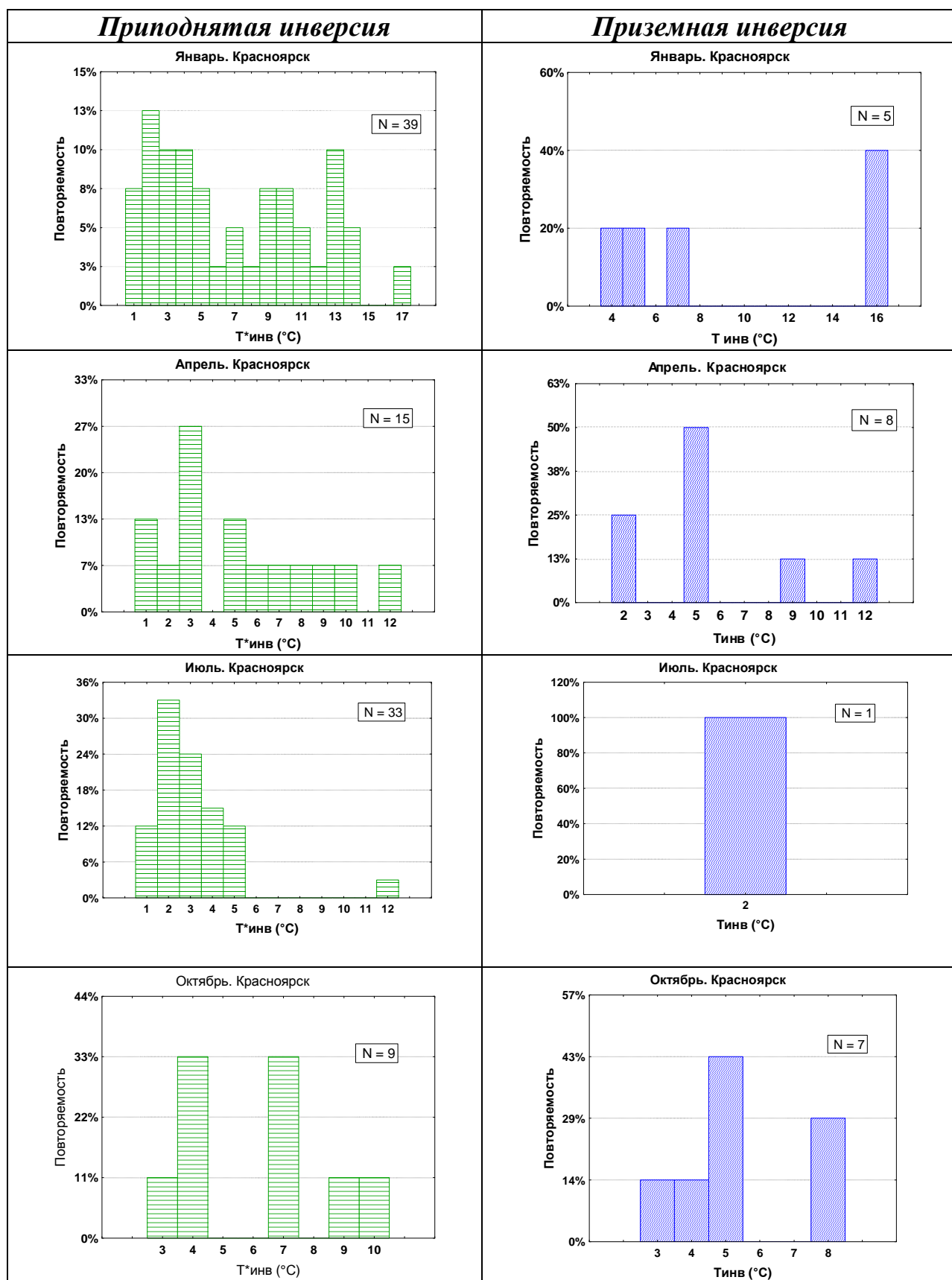


Рисунок 6.10. Распределение величины инверсии при максимальном ее развитии. Г. Красноярск. (2009 - 2010 гг.)

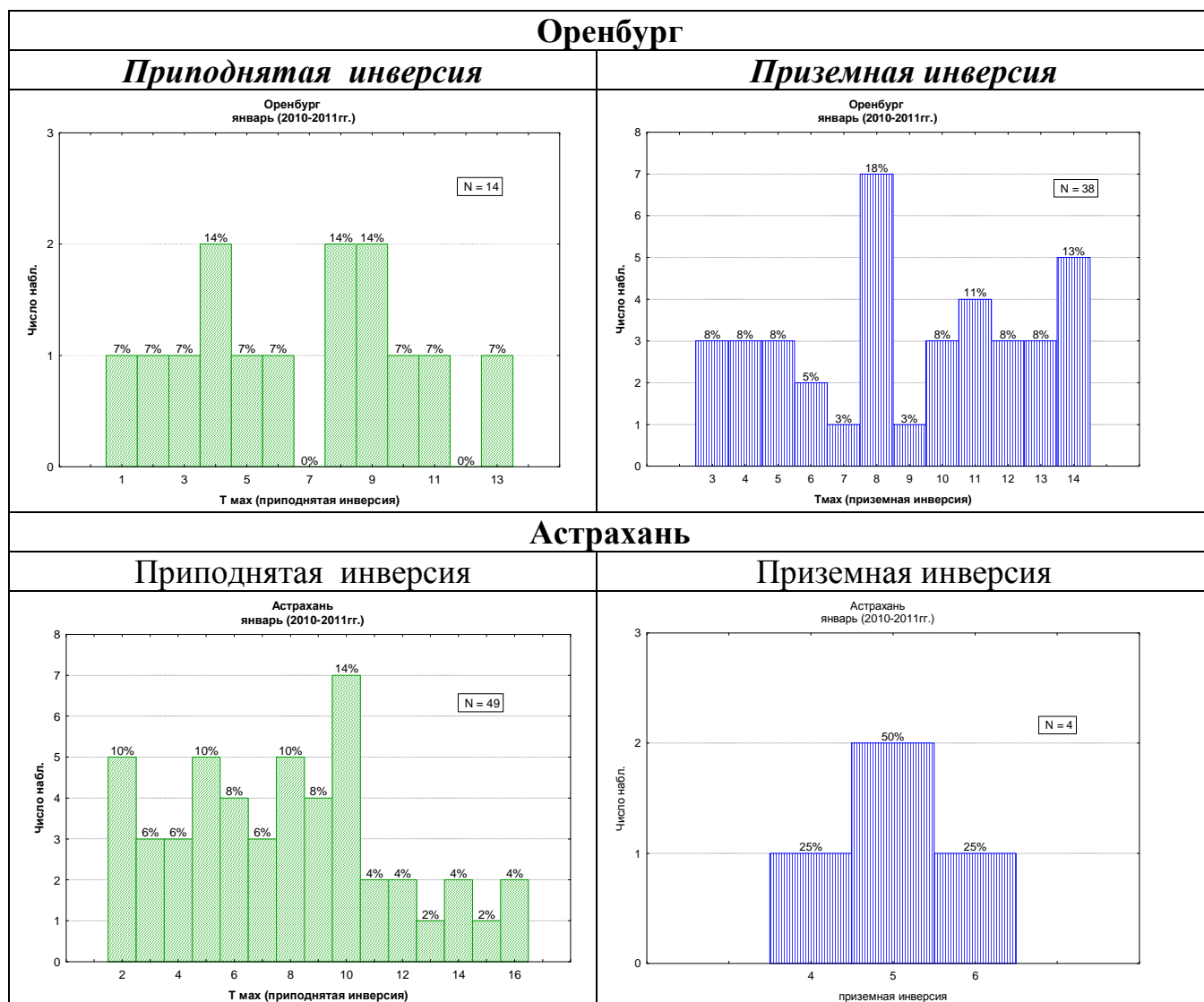


Рисунок 6.11. Распределение величины инверсии при максимальном ее развитии в январе. Астрахань, Оренбург. 2009-2010 гг.

Приземная инверсия

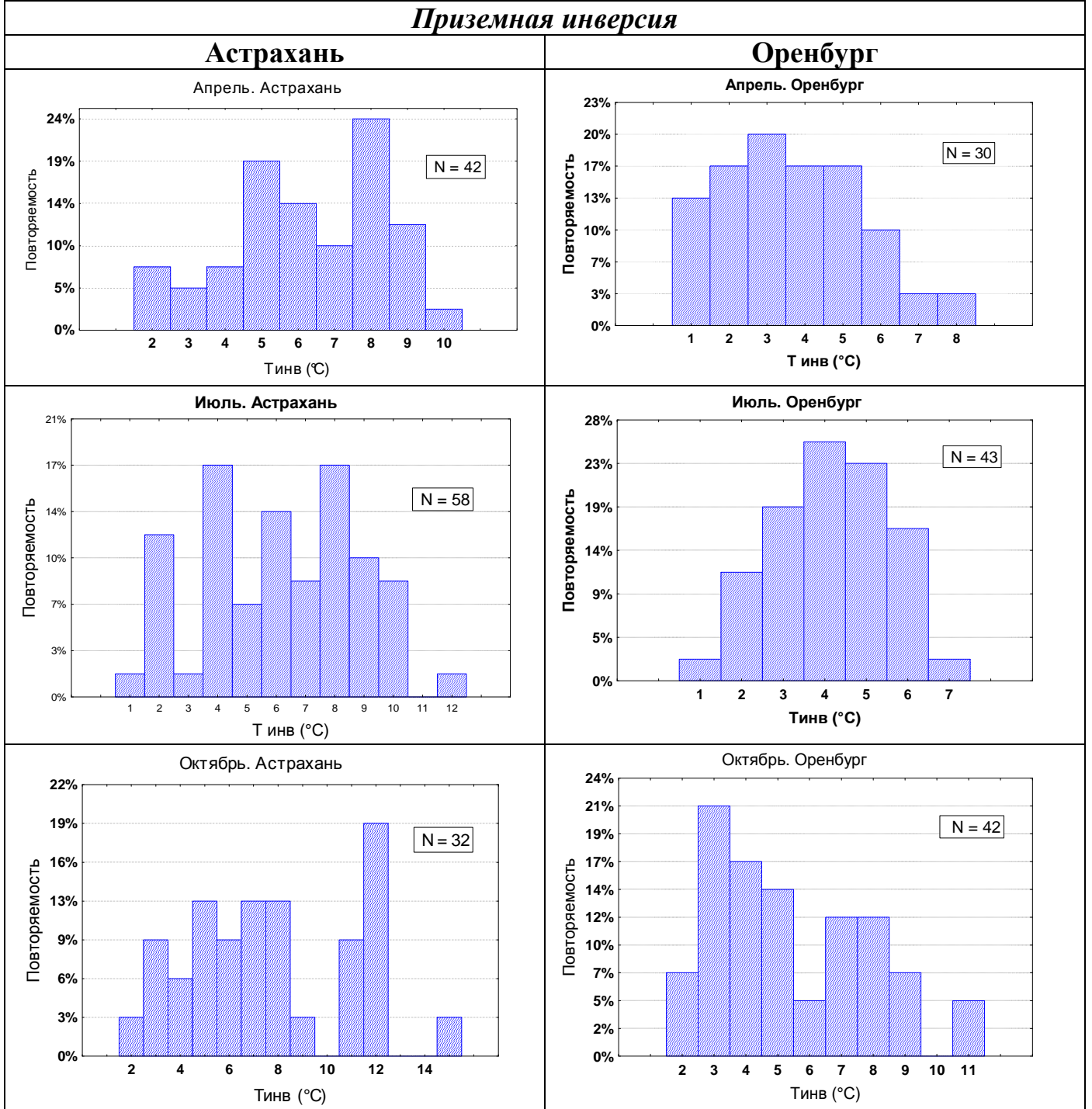


Рисунок 6.12 Распределение величины приземной инверсии при максимальном ее развитии. Астрахань, Оренбург. Апрель, июль, октябрь. 2009-2010 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайкович К.П., Кадыгров Е.Н., Косов А.С., Троицкий А.В. **Термическое зондирование пограничного слоя атмосферы в центре линий поглощения кислорода.** Изв. Вузов, Радиофизика, 1992 г., т. 35, N 2, с. 130-136.
2. Ivanov A., Kadygrov E. **The method and technique for remote measurements of boundary layer temperature profile.** WMO Report N 57. Instruments and Observing Methods. WMO/TD N 588, Geneva, 1994, pp. 407-412 .
3. Kadygrov E.N., Pick D.R. **The potential for temperature retrieval from an angular-scanning single-channel microwave radiometer and some comparisons with in situ observations.** Meteorological Applications, vol. 5, Issue 4, 1998, pp. 393-404.
4. Вествотер Е.Р., Вязанкин А.С., Гайкович К.П., Кадыгров Е.Н., Моисеев Д.Ю. **Радиометрический мониторинг температуры планетарного пограничного слоя атмосферы.** Метеорология и гидрология, № 3, 1999, с. 59-71.
5. Westwater E.R., Han Y., Irisov V.G., Leuskiy V., Kadygrov E.N., Viazankin A.S. **Remote sensing of boundary layer temperature profiles by a scanning 5-mm microwave radiometer and RASS: Comparison Experiments.** Journal of Atmospheric and Oceanic Technology., vol. 16, July 1999, pp. 805-818.
6. Kadygrov E.N., Shur G.N., and Viazankin A.S. **Investigation of atmospheric boundary layer temperature, turbulence, and wind parameters on the basis of passive microwave remote sensing.** Radio Science, vol. 38, No 3, 2003, pp. Mar 13-1÷13-12.
7. Кадыгров Е.Н. **Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя: метод, аппаратура, результаты измерений.** Оптика атмосферы и океана, 2009, том.22, № 7, с.697-704.
8. Вязанкин А.С., Кадыгров Е.Н., Мазурин Н.Ф., Троицкий А.В., Шур Г.Н. **Сравнение данных микроволнового радиометра и высотной метеорологической мачты при измерениях профиля температуры и структуры ее неоднородностей.** Метеорология и гидрология, 2001, N 3, с. 34-44.
9. Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А. **Результаты сравнений профилей температуры, полученных с помощью дистанционных профиломеров и датчиков высотных метеорологических мачт.** Тез. докладов Всерос. Научной конференции «Исследование процессов в нижней атмосфере при помощи высотных сооружений», 2008, Обнинск, с. 61-64.
10. **Сравнительный анализ данных высотных наблюдений (Обнинск, Останкино) и микроволновых измерений профилей температуры/Кузнецова И.Н., Артамонова А.А., Нахаев М.И. и др.//Всероссийская научная конференция «Исследование процессов в нижней атмосфере при помощи высотных сооружений».- Обнинск.- 2008. С. 65-69.**
11. Бызова Н.Л. **Типовые характеристики нижнего 300-метрового слоя атмосферы по измерениям на высотной мачте.-** М.: Гидрометеиздат, 1982.- 69 с.
12. Кузнецова И.Н. **Влияние метеорологических условий на содержание PM₁₀ и СО в летних эпизодах 2010 года.** «Физика атмосферы и океана», 2012. Т 48, №5. С.566-577.
13. Кадыгров Е.Н., Кузнецова И.Н., Голицын Г.С. **Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом: новые результаты на основе дистанционных данных // Докл РАН. 2002. Т. 385. № 4. С. 541-548.**
14. Кузнецова И.Н., Хайкин М.Н., Кадыгров Е.Н. **Влияние городской среды на температуру в пограничном слое атмосферы по данным микроволновых измерений в Москве и окрестностях// Известия РАН. Физика атмосферы и океана.- 2004.- Том 40; № 5, С. 678-688.**
15. Кузнецова И.Н., Нахаев М.И. **Сезонные особенности термической структуры нижних слоев атмосферы в московском мегаполисе по данным микроволновых измерений температуры // В кн.:80 лет Гидрометцентру России. . Москва. ТРИАДА 2010. С.389 - 400.**

16. Кузнецова И.Н., Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А., Нахаев М.И. **Характеристики температуры в нижнем 600-метровом слое по данным дистанционных измерений приборами МТП-5.** // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т.24. № 7. С.582-588.
17. Звягинцев А.М., Блюм О.Б., Глазкова А.А., Котельников С.Н., Кузнецова И.Н., и др. **Аномалии концентраций малых газовых составляющих в воздухе европейской части России и Украины летом 2010 г.** // Оптика атмосферы и океана том 24, 2011, № 07, стр.582-588
18. Хайкин М.Н., Кузнецова И.Н., Кадыгров Е.Н. **Влияние высокой концентрации аэрозоля на термическую структуру пограничного слоя атмосферы.** Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 6. С. 778-784.
19. Кадыгров Н.Е., Крученицкий Г.М., Лыков А.Д. **Количественные оценки возмущений, вносимых мегаполисом в поле температуры атмосферного пограничного слоя.** // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007, Том 43, № 1, с. 1-

ТАКЖЕ ПО ТЕМЕ

- Гладких В.А., Макиенко А.Э., Миллер Е.А., Одинцов С.Л. **Исследование параметров пограничного слоя атмосферы в городских условиях с помощью средств локальной и дистанционной диагностики. Часть 1. Межуровневые корреляции скорости ветра.** // Оптика атмосферы и океана, том 23, 2010, № 11, стр. 978-986.
- Гладких В.А., Макиенко А.Э., Миллер Е.А., Одинцов С.Л. **Исследование параметров пограничного слоя атмосферы в городских условиях с помощью средств локальной и дистанционной диагностики. Часть 2. Температура воздуха и поток тепла.** // Оптика атмосферы и океана, том 23, 2010, №11, стр. 987-994.
- Девятова В.А. **Микроаэрологические исследования нижнего километрового слоя атмосферы.** // 1957, Ленинград. Гидрометеиздат, с.144.
- Kuznetsova I., Lezina E., Nakhaev M. et al. **Features of urban air pollution during adverse meteorological conditions in Moscow** // Proceedings of the 5th International conference on urban air quality, 29-31 March 2005, Valencia, Spain.
- Воробьева Е.А., Шапошников А.Н., Фоломеев В.В., Кадыгров Е.Н. **Результаты измерений термической стратификации атмосферного пограничного слоя в каньонах и котловинах Гуамского хребта** // Оптика атмосферы и океана, 2010, т.23, № 6, СС.505-509.
- **К вопросу о распределении температуры, скорости и направления ветра в нижнем 500-метровом слое атмосферы** /Клинов Ф.Я., Новикова Э.Н., Куликова С.М., Бондина А.Г.// Труды ЦВГМО. М., 1975.- Вып. № 3.- С. 3-16.
- Новикова Э.Н., Бачурина А.А., Данильчева Т.И. **Температурный режим нижнего 500-метрового слоя атмосферы над Москвой при ясном небе** // Труды ЦВГМО.- М.- 1975.- Вып. № 3- С.49-53.
- Берлянд М. Е., Кондратьев К. Я. **Города и климат планеты.**- Л.: Гидрометеиздат, 1992.-40 с.
- Погосян Х.П. **Влияние больших городов на пограничный слой атмосферы** // Тр. ЦВГМО.-1975 - Вып. 5. С. 90-98.
- **Структура термического поля в нижнем 500-метровом слое атмосферы над Москвой** /Бачурина А.А., Новикова Э.Н.// Труды ЦВГМО.-М., 1975- Вып. 6- С.3-9.
- Борисенко М.М. **Вертикальные профили ветра и температуры в нижних слоях атмосферы** // Труды ГГО.- Л., 1974 - Вып. 320- 207 с.
- Оке Т.Р. **Климаты пограничного слоя**// Л., Гидрометеиздат,1982, с.359.
- **Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели)**// Под ред. Ю.С.Седунова, С.И. Авдюшина, Е.П. Борисенкова, О.А. Волковицкого, Н.Н. Петрова, Р.Г. Рейтенбаха, В.И. Смирнова, А. А. Черникова. Ленинград, Гидрометеиздат, 1991, с. 509.